



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Joonas Salminen

# KIINNITTIMEN SUUNNITTELU LASER- LEIKKURIIN

Tekniikka ja liikenne

2015

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Joonas Salminen
Opinnäytetyön nimi	Kiinnittimen suunnittelu laserleikkuriin
Vuosi	2015
Kieli	suomi
Sivumäärä	42 + 1 liite
Ohjaaja	Matti Makkonen

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella laite laserleikkurilla työstettävien materiaalien kiinnitystä varten. Toimeksiantajana oli vaasalainen yritys Veslatec Oy, jonka tuotannon ongelmakohdaksi olivat muodostuneet pitkät kappalekohtaiset asetusajat. Uudella kiinnittimellä pyrittiin vähentämään levynvaihtoon kuluva aikaa ja siten nopeuttamaan sekä yksinkertaistamaan tuotantoprosessia.

Työn teoriaosassa käsitellään laserleikkauksen toimintaperiaatetta ja menetelmiä yleisellä tasolla. Lisäksi kerrotaan, mihin laservalon tuottaminen perustuu ja millaisia työstölaseireita nykypäivän konepajateollisuudessa käytetään. Teoriaosan tarkoituksena oli antaa taustatietoa alalla hyödynnettävästä teknologiasta ja siihen liittyvästä terminologiasta kiinnittimen suunnittelua silmällä pitäen. Varsinainen tuotekehitysprosessi on käyty läpi työn toisessa osassa vaihe vaiheelta. Suunnittelussa noudatettiin tuotteen järjestelmällisen kehittämisen periaatteita, joita teollisuudessa käytetään yleisesti.

Tuotekehitys tapahtui aiotun mukaisesti. Useista ideoista päädyttiin yhteen vaatimukset täyttävään ratkaisuun, joka todettiin teoriassa toimivaksi ja toteutuskelpoiseksi. Kiinnittimen rakenteesta laadittiin 3D-mallit, piirustukset ja osaluettelot valmistusta varten. Lisäksi tehtiin ratkaisut siitä, mitä voidaan valmistaa tilaajayrityksen tiloissa ja mihin rakenteisiin tarvitaan muiden yritysten tuotteita tai palveluita.

## ABSTRACT

Author	Joonas Salminen
Title	Designing a Fastener for a Laser Cutting Machine
Year	2015
Language	Finnish
Pages	42 + 1 Appendix
Name of Supervisor	Matti Makkonen

---

The objective of the thesis was to design a device for attaching materials to a laser cutting machine. The customer of the thesis was a company from Vaasa called Veslatec Oy. The company found the setup time of manufactured parts too long which was aimed to be reduced with the new fastener. The purpose of the design process was also to simplify the production from the machine operator's point of view.

The principles and the different methods of generating laser light were first studied and the most common laser machinery was gone through. The idea was to ease the design process by studying laser technology and its terminology. The actual task was step by step product development in which different steps are presented in chronological order. In the design process multiple ideas for solving the problem were created and the best fitting ones were taken to the next stage of the development.

As a result the new fastener was successfully designed. The solution met all the defined requirements and was functional at least in theory. The different parts of the structure were 3D modeled and the necessary documents such as drawings and parts lists were made. Also the manufacturing methods of the parts were defined.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO .....	5
1.1	YRITYSESITTELY .....	5
2	LASERLEIKKAUS .....	7
2.1	Laserleikkausprosessit .....	7
2.1.1	Polttoleikkaus .....	7
2.1.2	Sulattava laserleikkaus .....	8
2.1.3	Höyrystävä laserleikkaus .....	8
2.1.4	Yhdistelmäprosessit .....	8
2.2	Leikkausparametrit .....	9
2.2.1	Leikkauksenopeuden ja laserin tehon välinen suhde .....	10
2.2.2	Tehon pulssitus .....	10
2.2.3	Aallonpituus .....	11
2.2.4	Polarisaatio .....	11
2.3	Laserleikkauksen laatu .....	11
2.3.1	Railon leveys .....	12
2.3.2	Pinnankarheus .....	12
2.3.3	Purse .....	12
2.3.4	Leikkauksen lopetus .....	13
2.4	Erityisprosessit .....	13
2.4.1	3D-leikkaus .....	13
2.4.2	Viisteen leikkaus .....	14
2.5	Sovellettavat standardit .....	14
3	TYÖSTÖLASERIEN RAKENNETYYYPIT .....	15
3.1	Hiilidioksidilaserit .....	15
3.1.1	Nopean pitkittäisvirtauksen laser .....	16
3.1.2	Poikittaisvirtauslaser .....	16
3.1.3	Diffuusiojäähdytetty laser .....	16
3.2	Nd:YAG-laserit .....	17

3.2.1	Jatkuvatoiminen Nd-YAG-laser.....	17
3.2.2	Pulssattava Nd-YAG-laser .....	18
3.2.3	Slab-Nd:YAG-laser.....	18
3.2.4	Diodipumpattu YAG-laser .....	18
3.2.5	Kiekkolaser .....	19
3.3	Diodilaser .....	19
3.4	Kuitulaser .....	20
4	TEHTÄVÄNASETTELU .....	21
4.1	Lähtötietojen hankinta .....	21
4.2	Vaatimuslista.....	21
5	LUONNOSTELU .....	24
5.1	Ideointi .....	24
5.2	Ratkaisuvaihtoehdot.....	26
5.3	Valinta.....	29
6	KEHITTELY .....	31
6.1	Mitoitus .....	31
6.2	Mallinnus .....	32
6.3	Rakenne.....	33
7	VIIMEISTELY .....	37
7.1	Materiaalivalinnat .....	37
7.2	Valmistusmenetelmät.....	38
7.3	Osto-osat ja alihankinta.....	39
7.4	Pintakäsittely.....	40
8	LOPPUPÄÄTELMÄT .....	41

LÄHTEET

LIITTEET

**KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO**

<b>Kuvio 1.</b>	Alumiiniprofiilista valmistettu kiinnitin.	s. 25
<b>Kuvio 2.</b>	Kiinnitin pneumaattisella puristusmekanismilla.	s. 25
<b>Kuvio 3.</b>	Luonnos levyrakenteisesta rungosta.	s. 26
<b>Kuvio 4.</b>	Luonnos ruuvipuristukseen perustuvasta kiinnitystavasta.	s. 27
<b>Kuvio 5.</b>	Luonnos liukumekanismin lukituksesta.	s. 28
<b>Kuvio 6.</b>	Kiinnittimen 3D-malli.	s. 33
<b>Kuvio 7.</b>	Kiinnittimen rungon 3D-malli.	s. 34
<b>Kuvio 8.</b>	Laserleikkauskoneen ympäristö.	s. 34
<b>Kuvio 9.</b>	Kiristysmekanismillisen liukupalan 3D-malli.	s. 35
<b>Kuvio 10.</b>	Imulaatikon 3D-malli.	s. 36
<b>Taulukko 1.</b>	Vaatimuslista.	s. 23
<b>Taulukko 2.</b>	Arvostelutaulukko.	s. 29

**LIITELUETTELO**

**LIITE 1.** Teknilliset piirustukset.



# 1 JOHDANTO

Idea opinnäytetyön sisältöön lähti Veslatec Oy:n tarpeesta kehittää tuotantoaan. Haasteena oli ollut materiaalien kiinnittäminen yrityksen pienikokoisimpiin laserleikkureihin, joilla suoritetaan erityisesti ohuiden ja tarkkojen kappaleiden työstöä. Työn valmistelu vei toivottua kauemmin aikaa, minkä seurauksena varsinaisen tuottava toiminta eli leikkaaminen jäi turhan pieneen rooliin. Tavoitteeksi asetettiin uuden yleismallisen kiinnittimen suunnittelu, joka nopeuttaisi levynvaihtoa ja myös helpottaisi tuotantoprosessia työntekijöiden näkökulmasta.

Työ aloitettiin perehtymällä laserleikkauksen teoriaan ja siinä käytettäviin laitteistoihin. Ajatuksena oli hankkia hyvät perustiedot aiheesta, mikä helpottaisi suunnittelua mm. terminologian ymmärtämisen kautta. Tietolähteenä käytettiin alan kirjallisuutta, jonka perusteella laadittiin työn teoriaosa. Siinä käydään läpi mm. materiaalien työstön kannalta olennaiset tavat muodostaa laservaloa ja laserleikkauksen eri muodot sekä niiden toimintaperiaatteet.

Varsinaisessa suunnittelutyössä ohjenuorana oli tuotteen järjestelmällisen kehittämisen -periaate, jossa ideointiprosessin kautta hankitaan useita ratkaisuvaihtoehtoja ja seulan läpäisseet toteutukset viedään seuraavalle kehitysaskelle. Samaa vaihe vaiheelta etenevää kaavaa oli noudatettu jo opintojen aikaisempien vaiheiden projekteissa. Työn kulku ja valintoihin johtaneet syyt on selostettu työn toisessa osassa. Ajatuksissa oli valmistukseen asti vietävä tuote, joten kiinnittimestä oli laadittava tarvittavat piirustukset ja osaluettelot. Rakenteiden hahmottelussa ja dokumenttien laatimisessa käytettiin apuna 3D-mallinnusta sekä siihen liittyviä ohjelmistoja. Valmistuksen kannalta olennaisia asioita olivat myös osien materiaalien määrittäminen ja alihankintana tehtävät työt.

## 1.1 YRITYSESITTELY

Opinnäytetyön tilaajana toiminut Veslatec Oy on suomalainen laserteknologiaan erikoistunut yritys. Toiminta alkoi vuonna 1989 ja nykyiset toimitilat sijaitsevat teollisuusalueella Vaasan Strömberg Parkissa. Yritys työllistää 12 henkilöä ja liikevaihto vuonna 2014 oli n. 1,3 miljoonaa euroa.

Veslatecin erikoisosaamista ovat hienomekaanisten osien valmistus ja niiden sovellukset sekä lasermerkkaus. Laserleikkausta sekä -hitsausta on tarjolla niin suurille kuin todella pienillekin kappaleille ja myös kolmiulotteinen työstö on mahdollista. Yritys tarjoaa lasertyöstön lisäksi mm. särmäystä, kokoonpanoa ja suurpainemuovausta. Lisäksi saatavilla olevan suunnittelupalvelun ja laajan alihankintaverkoston avulla voidaan hyvin erityyppiset asiakastoiveet toteuttaa suoraan ideasta valmiiksi tuotteeksi saakka.

Asiakkaina on mm. lääke-, ajoneuvo- ja elektroniikkateollisuuden yrityksiä sekä energia-alan toimijoita. Valmistettavia tuotteita ovat esimerkiksi staattori- ja roottorilevyt, laserleikatut logot, kellonosat sekä ohutlevyrakenteet koneenrakennukseen. Suuri osa tuotannosta menee kansainvälisille markkinoille, mutta asiakkaiden joukossa on paljon myös kotimaisia yrityksiä. Laatukriteereiden täyttymisestä ovat osoituksena myönnetty ISO 9001:2008 ja 14001:2004 -sertifikaatit. Veslatec edistää eurooppalaisten yritysten yhteistyötä Metwork Europe -konseptin kautta, jonka tavoitteena on yhdistää eri maiden tuotannon vahvuuksia parhaan asiakaskokemuksen takaamiseksi.

## **2 LASERLEIKKAUS**

Laserleikkaus on yleisin lasertyöstösovellus teollisuudessa ja sen käyttötarkoituksena on levyjen tai muovattujen osien leikkaaminen tiettyyn muotoon. Kyseessä on terminen prosessi, joka perustuu fokusoidun lasersäteen vaikutuksiin leikattavassa kappaleessa. Lämpöenergian vaikutuksesta osa materiaalista höyrystyy ja osa sulaa. Leikkauksessa käytetään apuna kaasua, joka esim. hapen tapauksessa aiheuttaa materiaalin palamisen tai, esim. typen kohdalla, vain puhaltaa lasersäteen sulattamaa materiaalia pois leikkausrailosta. Kaasuvirtaus saadaan aikaan suuttimella, joka puhaltaa käytettävää kaasua yhdensuuntaisesti leikkaussuuntaan nähden. Lasersädettä liikutetaan työstettävään materiaaliin nähden, jolloin syntyy leikkausrailo.

Menetelmän pääasiallisia etuja ovat mm. vapaus leikattavan kappaleen muodon, materiaalin tai leikattavien osien lukumäärän suhteen, suuren nopeuden mahdollistama hyvä tuottavuus sekä erinomainen työstötarkkuus. Erilaisille työkaluille ei ole tarvetta, mikä auttaa pitämään kustannukset alhaisina. Laserleikkausta voidaan lisäksi tehdä niin yksi-, kaksi- kuin kolmiulotteisestikin, joten sovelluskohteita on laajalti. /1, 133/ /2, 3.2.1-1/

### **2.1 Laserleikkausprosessit**

Osa lasersäteestä absorboituu leikattavaan materiaaliin ja muuntaa sen uuteen olomuotoon, jolloin sula tai höyrystynyt aines on poistettavissa kaasupuhalluksen avulla. Säteen kohdistus ja puhallus tapahtuvat samanaikaisesti, joten materiaalia poistuu sitä mukaa, kun sädettä liikutetaan eteenpäin. Laserleikkaus jaetaan kolmeen eri prosessiin sen perusteella, mihin mekanismiin leikkausrailon syntyminen perustuu. On olemassa sulattavaa leikkausta, polttoleikkausta ja höyrystävää leikkausta. /1, 134/

#### **2.1.1 Polttoleikkaus**

Polttoleikkaus on yleisin laserleikkausmenetelmä ja voidaan puhua myös laserhappileikkauksesta. Käsiteltävä materiaalina ovat yleensä hiili- tai niukkaseoste-

set teräkset. Leikkauskaasuna toimiva happi tehostaa materiaalin palamista tuomalla prosessiin lisäenergiaa ja palamisen ansiosta voidaan joissakin tapauksissa käyttää suurempaa leikkausnopeutta kuin pelkästään materiaalin sulattamiseen perustuvissa menetelmissä. Polttoleikkaus vaatii kuitenkin hyvää kontrollia ja leikkausparametrien tasapainoa terävien nurkkien sekä pienten reikien leikkaamisessa, jotta tarkat piirteet eivät sulaisi tai palaisi. Myös hapen puhtaus vaikuttaa railon laatuun. /1, 134, 144/ /2, 3.2.2-8/

### **2.1.2 Sulattava laserleikkaus**

Sulattavassa laserleikkauksessa leikkauskaasuna on lähes aina typpi. Railo syntyy, kun lasersäteen sulattama materiaali puhalletaan pois korkeapaineisella kaasuvirtauksella. Paine voi olla jopa 20 baria ja siksi menetelmästä käytetään myös nimeä korkeapaineleikkaus. Typpi on reagoimaton kaasu ja se suojelee materiaalia ympäristön hapettavalta vaikutukselta prosessin aikana. Sulattavaa laserleikkausta voidaan käyttää kaikille metalleille ja monille polymeereille sekä keraameille. Yleisimmät käyttökohteet ovat metallit, joiden kohdalla polttoleikkaus ei useimmiten tule kysymykseen. Tällaisia ovat mm. ruostumaton teräs ja alumiini. /1, 135/ /2, 3.2.2-11/

### **2.1.3 Höyrystävä laserleikkaus**

Leikkausmenetelmä perustuu materiaalin höyrystämiseen ja kaasuvirtausta käytetään poistamaan syntynyt höyry railosta. Tällöin höyryyn sitoutunut lämpöenergia ei häiritse leikkausprosessia ja kondensoitumista railon pinnalle ei pääse tapahtumaan. Leikattavia materiaaleja ovat esim. akryyli, kertamuovit, kumi ja puu. Metalleille höyrystävää laserleikkausta voidaan käyttää ohuiden ja erittäin suurta tarkkuutta vaativien osien kohdalla. /1, 135/

### **2.1.4 Yhdistelmäprosessit**

Usein kustannussyistä on hyödyllistä käyttää em. prosesseja yhdistelevää menetelmää. Yksi esimerkki tällaisesta tilanteesta on paineilman käyttäminen leikkauskaasuna typen tai hapen sijasta alumiinin tai muovin laserleikkauksessa. Ilmassa oleva happi aikaansaa materiaalin osittaista palamista, mutta ei ole dominoiva te-

kijä prosessissa. Kyseessä on siis polttoleikkauksen ja sulattavan leikkauksen yhdistelmä. /1, 135/

## 2.2 Leikkausparametrit

Laserleikkausprosessin onnistumisen kannalta siihen liittyvät muuttujat ovat olennaisessa asemassa. Leikkausparametreja voidaan tarkastella energiatasapainoa hyväksikäyttäen, sillä laadukas työjälki edellyttää tasapainoa tuodun lasertehon ja kulutetun tehon välillä. Materiaaliin kohdistetun tehon on siis oltava lähellä sitä energiamäärää, joka vaaditaan leikattavan materiaalin lämmittämiseen ja olomuodon muuttamiseen yhteensä. Arvojen määrittämiseen tarvitaan tietoa materiaalin ominaisuuksista ja prosessiparametreista, kuten laserteho, lasersäteen halkaisija ja leikkausnopeus. Osan toimivaksi todetuista arvoista ja parametreista ovat löydettävissä valmiina käsikirjoista, mutta osa on määriteltävä kokeellisesti.

Laserleikkausparametrit voidaan jakaa kolmeen ryhmään. Materiaaliparametreja ovat materiaalin fysikaaliset ja optiset ominaisuudet, laserparametreja mm. aallonpituus, laserteho ja polarisaatio, prosessiparametreja taas esim. leikkausnopeus, polttoväli sekä polttopisteen paikka. Muita tärkeitä huomioon otettavia kohteita ovat leikkaukseen aloitukseen liittyvät lävistysparametrit, leikkausnopeuden mukaan säädettävät leikkausparametrit ja konekohtaisten ominaisuudet.

Mitään tarkkaa tai aina toimivaa sääntöä ei parametriasetusten määrittämiseen ole olemassa, mutta joitakin perusperiaatteita voidaan noudattaa. Leikkausnopeutta valitessa toimiva ja turvallinen valinta on useimmiten 80–90 % suurimmasta mahdollisesta leikkausnopeudesta. Liian suuri nopeus heikentää tasaisen railon syntymistä, kun liian hidas liike taas saa sulattavassa leikkauksessa aikaan pursetta ja polttoleikkauksessa palamista. Lasersäteen polttopisteen paikkaa voidaan sulattavassa leikkauksessa säätää tavoitteiden mukaan. Jos halutaan purseetonta leikkausta, on polttopisteen oltava lähellä leikattavan levyn alapintaa. Jos sen sijaan tavoitellaan mahdollisimman suurta leikkausnopeutta, asemoidaan polttopiste suurin piirtein levyn vahvuuden puoliväliin. Happileikkauksessa polttopisteen on sijaittava ohuita materiaaleja leikatessa levyn ylemmässä puolikkaassa ja yli 10 mm levyvahvuuksien tapauksessa muutamia millimetrejä levypinnan yläpuolella.

Myös kaasun paineelle ja kaasusuuttimien asetuksille on olemassa tiettyjä oletuksia. Kaasun paine vaikuttaa kaasun virtausnopeuteen leikkauskohdassa, jolle on eri vaatimukset eri leikkausprosesseissa. Sulattavassa leikkauksessa paineen tulee olla suuri, ja mitä paksumpaa leikattava materiaali on, sitä suurempaa painetta käytetään. Paine saattaa olla jopa 25 baria. Liian suuri paine saattaa kuitenkin aiheuttaa leikon romahtamisen tai liian suuren plasmapilven. Hapella leikatessa kaasun paine on tavallisesti 0,5–1 baria. Kaasusuuttimen tulee olla siten suunnattu, että lasersäde ja kaasuvirtaus ovat koaksiaalisesti, jolloin leikkausjälki on paras mahdollinen ja samanlainen eri suuntiin leikatessa. /1, 137-138/ /2, 3.2.1-10, 3.2.1-11/

### **2.2.1 Leikkausnopeuden ja laserin tehon välinen suhde**

Laserteho vaikuttaa siihen, kuinka paljon energiaa leikattavaan materiaaliin siirtyy. Alle 10 % pudotus tehossa ei vielä vaikuta mihinkään, sillä käytännössä leikkausta ei milloinkaan suoriteta kuin korkeintaan 80–90 % nopeudella maksimiin nähden. Suuremmat tehon alenemat saavat jo aikaan sen, että leikkaus ei ulotu materiaalista läpi. Tällöin sula materiaali ei pääse poistumaan tavalliseen tapaan ja seurauksena on kappaleen ylikuumentuminen. Lievä tehon nousukaan ei aiheuta vielä ongelmia, mutta esim. 150 % teholla leikatessa voi sulan liiallisen kuumentumisen tuloksena olla terävien kulmien palaminen. Jos tehoa halutaan alentaa, voidaan se tehdä jopa 50 % saakka, kunhan huolehditaan samalla nopeuden alenemisesta. Olennaista on tasapainotila näiden kahden muuttujan välillä. /1, 138-139/

### **2.2.2 Tehon pulssitus**

Lämpövaikutusten osalta kriittisten tai vaurioitumisherkkien osien kohdalla voidaan käyttää lasertehon pulssitusta minimoimaan laserenergian tuonti kappaleeseen. Tällöin laserin tehoa muutetaan ajan funktiona. Tarkkojen kappaleiden kohdalla voidaan hyödyntää pulssitettua CO<sub>2</sub>-laseria, mutta varsinaisilla Nd-YAG-pulssilasereilla saadaan aikaan monikymmenkertaisia pulssitehoja ja suuri tehotehiys. Suurempi pulssienergia tarkoittaa pienempää kokonaisenergiatuontia ja korkeampi tehotehiys mahdollistaa syvemmän tunkeuman. Pulssileikkausta käytetään

erityisesti jyrkkien geometrioiden, kuten terävien kulmien leikkaamiseen. /1, 139-140/

### **2.2.3 Aallonpituus**

Laserin aallonpituus vaikuttaa leikkaukseen, sillä eri aallonpituudet absorboituvat eri tavalla materiaalista riippuen. Asialla on vaikutusta tehtäessä valintaa siitä, käytetäänkö CO<sub>2</sub>- vai Nd:YAG-laseria. Jälkimmäisen aikaansaama säde absorboituu metalleihin huomattavasti paremmin kuin ensimmäisen, mutta käytännössä CO<sub>2</sub>-laser on vielä toistaiseksi kannattavampi investointi paremman säteenlaadun ansiosta. Polymeerien ja puupohjaisten materiaalien kohdalla CO<sub>2</sub>-laserin säde absorboituu paremmin. Nd:YAG-laser on kalliimpi ja käyttö on kannattavaa vain tarkkuutta vaativissa töissä sekä 3D-kappaleiden muotoonleikkauksessa. /1, 141/

### **2.2.4 Polarisaatio**

Materiaalin optiset ominaisuudet tulee ottaa leikkausprosessissa huomioon. Lasersäde tuodaan materiaalin pintaan ja säde absorboituu yleensä levyn sulaan pintakerrokseen. Pintaan kohdistetun lasersäteen heijastavuus riippuu mm. säteen kohdistuskulmasta, laservalon polarisaatiotason suunnasta ja perusaineen ominaisuuksista, lämpötilasta sekä pinnanlaadusta. Mitä heijastavampi materiaali on, sitä suurempi vaikutus polarisaatiolla on leikkaukseen. Laserleikkauksen tehokkuus taas riippuu siitä, miten tehokkaasti energia saadaan siirrettyä materiaaliin. Materiaalin lämpötilan kasvaessa kasvaa myös sen kyky absorboida lasersädettä. Leikattaessa lineaaripolarisoidulla säteellä materiaalia muuhun kuin polarisaatiotason suuntaan, on tuloksena epäsymmetrinen absorptio, ja leikkausrailo taipuu voimakkaamman polarisaation suuntaan. Vaikutus on suurimmillaan leikattaessa metallia CO<sub>2</sub>-laserilla. Polarisaation vaikutus minimoidaan käyttämällä ympyräpolarisoitua sädettä. /1, 141-142/

## **2.3 Laserleikkauksen laatu**

Leikkausjälkeen vaikuttavat useat eri tekijät ja laatua mitataan tiettyjä asioita silmällä pitäen. Tällaisia mitattavia ja tarkasteltavia ominaisuuksia ovat railon leve-

ys, kartiomaisuus, pinnankarheus ja mittatarkkuus. Laatu voi poiketa kappaleen eri kohtien välillä. /1, 146/

### **2.3.1 Railon leveys**

Leikatun railon leveyden määrittävät lasersäteen polttopisteen halkaisija ja asema. Mitä paksumpi materiaali on, sitä leveämpi on syntyvä railo. Tavallisesti puhutaan 0,05–1,0 mm railon halkaisijasta. Yleensä pyritään mahdollisimman kapeaan railoon, mutta paksujen materiaalien kohdalla se ei ole tarkoituksenmukaista. Parempaan tulokseen päästään tällöin käyttämällä leveämpää railoa, jolloin sulan aineksen poistaminen on helpompaa. Tyypileikkauksessa on huomioitava leveämmän railon vaatima suurempi virtausnopeus. /1, 146/

### **2.3.2 Pinnankarheus**

Pinnankarheus on parhaimmillaan jopa alle 0,1 µm ohuiden happileikattujen hiiliterästen kohdalla. Paksumpiin materiaaleihin siirryttäessä leikon reunaan tulee näkyviä muotoja, ja 10 mm:n materiaalilla voidaan päästä n. 10 µm pinnankarheuteen. Tyypileikatut osat eivät yllä happileikattujen tasolle, ja 1,5 mm ainevahvuudella voidaan olettaa n. 3 µm pinnankarheutta. /1, 147/

### **2.3.3 Purse**

Ihannetapauksessa kaasuvirtaus poistaa kaiken sulan materiaalin leikkausrailosta, mutta käytännössä sula tarttuu usein kappaleeseen ja muodostaa pursetta. Hiiliterästä leikatessa syy saattaa olla mm. polttopisteen huonossa asemoinnissa, liian alhaisessa kaasun virtausnopeudessa tai olosuhteisiin nähden liian suuressa leikkauksnopeudessa. Ruostumatonta terästä happileikattaessa purse voidaan usein välttää suurentamalla kaasun painetta tai käyttämällä leveämpää leikkausrailoa. Levyn alapinnan käsittely esim. grafiitilla taas auttaa roiskeiden tarttumisen ehkäisyssä. /1, 147/ /2, 3.2.4-11/



### **2.3.4 Leikkauksen lopetus**

Leikkauksen lopetuskohta on usein havaittavissa virheestä leikon reunassa. Mitä paksumpi materiaali on kyseessä, sitä selvemmin lopetuksen aiheuttama jälki näkyy. Virhe syntyy, kun leikkausohjelmointi on tehty huolimattomasti. Toinen mahdollinen syy on osan putoaminen painovoiman vaikutuksesta ennen leikkauksen päättymistä, mikä aiheuttaa materiaalin repeämisen. /1, 147/

## **2.4 Erityisprosessit**

Useimmiten laserleikkausta käytetään tasomaisten kappaleiden leikkaukseen. On kuitenkin olemassa sovelluskohteita, joissa materiaalia leikataan myös kolmannessa ulottuvuudessa. Tällöin puhutaan 3D-leikkauksesta. Toinen vastaava tavanomaisesta poikkeava sovellutus on viisteiden leikkaus. Menetelmät mahdollistavat vapauksia suunnittelun osalta ja myös kustannussäästöjä, kun työvaiheita saadaan vähennettyä sekä automatisoitua. /1, 151/

### **2.4.1 3D-leikkaus**

3D-leikkaus on yksi lupaavimpia ja nopeimmin kasvavia laserleikkauksen muotoja. Mm. autoteollisuus hyödyntää menetelmää korin ohutlevyosien valmistuksessa, sillä 3D-leikkaus mahdollistaa osien aukotuksen muovauksen jälkeen. Toinen etu on laserleikkauksen vähäinen lämpövaikutus muihin termisiin prosesseihin verrattuna. Kolmiulotteinen työskentely edellyttää kiinnitintä, kappaleenkäsittelyä ja 3D-ohjelmistoa, jonka avulla leikkausohjelmaa voidaan muokata saman muodon eri variaatioiden mukaisesti. Ongelmana on laserleikkauksen ja robotiikan yhdistäminen. Tarkka leikkaus edellyttää kallista CO<sub>2</sub>-laserin ja portaalirobotin yhdistelmää. Nivelvarsirobotit ovat monikäyttöisempiä ja edullisempia, mutta niiden tarkkuus ei ole riittävä tarkimpiin kohteisiin, ja täten CO<sub>2</sub>-laserin ominaisuuksia ei päästä täysin hyödyntämään. Autoteollisuuden tapauksessa käytössä on nivelvarsirobottien ja Nd:YAG -lasereiden muodostamia kokonaisuuksia, ja tulevaisuuden kehitys kohdistuukin nimenomaan tuolle alueelle. Robottien tarkkuus paranee ja tehokkaiden Nd:YAG -lasereiden säteenlaatu kasvaa.

Yksinkertaisimmissa tapauksissa 3D-leikkaus eroaa tasoleikkauksesta ainoastaan sulan käyttäytymiseen vaikuttavan painovoiman suunnan osalta. Usein leikkauksen kohteena on kuitenkin kaksoiskaarevia muotoja, jolloin leikkausympäristö muuttuu monimutkaisemmaksi. Mitä pienempi kaarevuussäde on, sitä tärkeämmässä roolissa on leikkausparametrien optimointi. Vaikeimmillaan leikattavassa muodossa on kahteen suuntaan terävä nurkka, jolloin tulee kiinnittää erityistä huomiota lämmöntuontiin. 3D-leikkauksessa on otettava huomioon myös muovattujen tuotteiden sisäisten jännitysten mahdollisuus. Kappaletta aukotettaessa jännitykset laukeavat, ja mitat saattavat muuttua hieman. /1, 151-153/ /2, 3.2.3-8/

#### **2.4.2 Viisteen leikkaus**

Viisteiden leikkaus on lasertekniikan avulla mahdollista ja ominaisuutta hyödynnetään pyrittäessä minimoimaan materiaalihukka tuotannossa. Viisteen leikkaus on haastavampaa kuin tasoleikkaus muutamasta syystä. Viistekulman kasvaessa myös leikattava paksuus kasvaa ja leikkausaika pitenee. Useimmiten käytössä on sama laitteisto kuin tasoleikkauksessa, minkä seurauksena leikkauskaasu ja lasersäde tuodaan materiaaliin epäsymmetrisesti. Kaasuvirtaus muuttuu, sillä suuttimen etäisyys materiaalista on erilainen eri kohdissa suutinta. Kun kohdistuskulma poikkeaa optimaalisesta 90 asteesta, lasersäde ei absorboitu materiaalin yhtä tehokkaasti. Tällöin lämpöenergia ei siirry kappaleeseen tasoleikkauksen tavoin, mikä vaikuttaa prosessin tehokkuuteen heikentävästi ja edellyttää leikkauksenopeuden alentamista. Sulan poistaminen on haastavampaa, kun painovoima ei myöten vaikuta tapahtumaan yhtä suotuisasti. On huomioitava myös viisteen leikon vaatima suurempi tilantarve. Lämpövaikutus on tasoleikkausta suurempi, joten kappaleet saattavat vaurioitua mikäli ne on asemoitu liian lähelle toisiaan. /1, 153/

#### **2.5 Sovellettavat standardit**

Laserleikkauksen kohdalla standardisointi käsittää lähinnä leikkauksen laadun. Standardissa laatua arvioidaan leikatun kappaleen reunan pinnankarheuden, purren ja hapettumisen osalta, ja laserleikkausta työstömenetelmänä verrataan poltto- sekä plasmaleikkaukseen. Käytettävät standardit ovat EN 12584 ja SFS-EN ISO 9013. /1, 156/

### 3 TYÖSTÖLASERIEN RAKENNETYYPI

Sana LASER tulee englanninkielisistä sanoista Light Amplified by Stimulated Emission of Radiation, mikä tarkoittaa valoa joka on vahvistettu stimuloidun emission avulla. Kaikki laserit ovat siis optisia vahvistimia, jotka vaativat toimia-akseen tietyt välttämättömät komponentit. Lasersäteen syntyyn tarvitaan laseroiva väliaine, joka voi olla neste, kaasu tai kiinteä aine sekä kaksi peiliä joiden välissä laserointi tapahtuu. Lisäksi vaaditaan pumppausenergiaa eli sähkö- tai valoenergi-aa. Sitä käytetään virittämään laseroitavien atomien elektronit korkeammalle energiatasolle, jotka palatessaan alemmalle tasolle lähettävät aallonpituudeltaan vakiota valoa. Lukuisia kertoja toistuttuaan prosessi saa aikaan laservaloa, jossa on vain yhtä aallonpituutta ja säteet ovat keskenään samassa vaiheessa. Suuritehoisia lasereita voidaan käyttää materiaalien työstöön, ja vain muutamat väliaineet ovat soveltuvia suurta tehoa vaativiin sovelluksiin.

Varsinainen laserlaite sisältää resonaattorin, virtalähteen, ohjauksen, jäähdyttimen ja runkorakenteen. Resonaattorin rakenteelle on useita eri vaihtoehtoja, ja työstö-laserit voidaan jakaa rakenteensa sekä toimintaperiaatteensa perusteella eri luok-kiin. Jokaisella rakennetyypillä on omat erityispiirteensä ja hyvät sekä huonot puolensa. Tällä hetkellä tärkeimmät käytössä olevat työstölaserit ovat CO<sub>2</sub>-, Nd:YAG-, diodi-, ja kuitulaser. Kaikki mainitut lasertyypit toimivat infrapuna-alueella (400–700 nm), mikä tarkoittaa näkyvää valoa laajempaa skaalaa aallonpi-tuudessa. /1, 33-34, 54/ /2, 2.1.1-7, 2.1.3-2/

#### 3.1 Hiilidioksidilaserit

Hiilidioksidi- eli CO<sub>2</sub>-laser on yleisin työstölasertyyppi metalliteollisuudessa. Laitteessa käytetään väliaineena kaasua, joka on hiilidioksidin, typen ja heliumin muodostama seos. Hiilidioksidi vastaa lasersäteen synnyttämisestä, tyyppi avustaa energian siirtoa CO<sub>2</sub>-molekyyleihin ja helium jäähdyttää kokonaisuutta. Helium-kaasu siirtää resonaattorissa syntyvän lämmön lämmönvaihtimeen häiritsemättä laserointiprosessia. Resonaattorien kaasuseosten sekoitussuhteet vaihtelevat lait-teistosta toiseen ja olennaista on kaasujen puhtaus hyvän hyötysuhteen takaami-seksi. Laserin laskennallinen hyötysuhde on n. 21 %, mutta käytännössä nykyisil-

lä laitteistoilla jäädään 10–15 % lukemiin. Konepajakäytössä olevat hiilidioksidilaserit voidaan jakaa toimintaperiaatteensa perusteella nopean pitkittäisvirtauksen lasereihin, poikittaisvirtauslasereihin ja diffuusiojähdytettyihin lasereihin. /1, 54-55/ /2, 2.1.3-6/

### **3.1.1 Nopean pitkittäisvirtauksen laser**

Nopean pitkittäisvirtauksen laser on yleisin käytössä oleva rakenne. Siinä laseroiva kaasuseos kiertää resonaattorin ja säteen optisen akselin suuntaisesti suurella nopeudella. Kaasun virtausnopeutta nostetaan turbiinien tai puhaltimien avulla, jolloin jäähdytys on tehokasta. Segmenttejä voidaan yhdistää ja kytkeä optisesti sarjaan, mikä mahdollistaa eritehoisten laserlaitteiden valmistamisen samasta perusrakenteesta. Laitteistojen ulostulotehot asettuvat 700 W ja 15 kW välille ja ne soveltuvat niin leikkaukseen kuin hitsaukseenkin. Maksimitehon nostamista rajoittaa lähinnä tarvittava kaasun virtausnopeus ja säteen aiheuttama rasitus optisille komponenteille. /1, 56/

### **3.1.2 Poikittaisvirtauslaser**

Poikittaisvirtauslaserissa laserkaasu kiertää resonaattorin ja säteen optisen akselin kohtisuorasti. Kaasun virtausnopeus on suhteellisen pieni ja lämpöenergia siirretään resonaattorista lämmönvaihtimeen. Säteen vahvistus tapahtuu peilien avulla. Rakenteen etuna ovat kohtuulliset kustannukset, kompakti koko ja suuri maksimiteho. Heikkoutena taas on lasersäteen heikohko laatu. Poikittaisvirtauslasereita on saatavilla teholuokassa 4–60 kW ja parhaimmillaan ne ovat hitsauksessa sekä pintakäsittelyssä. /1, 57/

### **3.1.3 Diffuusiojähdytetty laser**

Hiilidioksidilaserien viimeisin kehitysaste on diffuusiojähdytetty laser. Säde muodostetaan kahden kuparielektrodin välissä, jotka ovat lähellä toisiaan. Elektrodien välinen lyhyt etäisyys yhdistettynä vesijähdytykseen mahdollistaa tehokkaan lämmönpoiston resonaattorista. Sylinteripeilien avulla saadaan aikaan erittäin hyvälaatuinen säde kompaktissa ja kestävässä rakenteessa. Etuna on myös

vähäinen kaasunkulutus, sillä uutta kaasua lisätään vain tiettyinä jaksoina jatkuvan kaasukierron sijaan. /1, 57-58/

### **3.2 Nd:YAG-laserit**

Nd:YAG-lasereissa laservalon muodostukseen käytetään kaasun sijasta kidettä ja siksi puhutaankin kidelasereista. Laseraktiivisena aineena toimii neodyymi, jota on seostettu yttrium-alumiinipiksidista valmistettuun kiteeseen. Kide on tangon muotoinen ja se on sijoitettu kahden elliptisen heijastimen yhteiselle optiselle akselille. Viritykseen käytetään kryptonlamppuja, jotka ovat molemmat elliptisen heijastimen toisella optisella akselilla. Peilejä jäähdytetään veden avulla ja niiden tehtävänä on heijastaa mahdollisimman suuri osa virityslampun valosta kiteeseen virityksessä hyödynnettäväksi. Tehoa saadaan moninkertaistettua asettamalla useita kiteitä peräkkäin. Lamppupumpattujen Nd-YAG-laserien tarvitseman sähkötehon ja ulostulotehon välinen hyötysuhde on vain 2-3 %, sillä suurin osa lamppujen tehosta muuttuu lämmöksi. Rakenne edellyttää tehokasta vesijäähdytystä, ja yleensä kiteet sekä lamput sijaitsevat jäähdytysveden ympäröimässä kvartsilasiputkessa.

Nd-YAG-laserin valoa voidaan kuljettaa optista kuitua pitkin, jolloin hiilidioksidi-laserin vaatimia peilejä ei tarvita. Tämä mahdollistaa vapauksia rakenteen suunnittelussa. Nd-YAG-laserien kehitystä ovat kuitenkin jarruttaneet ongelmat kiteiden jäähdytyksessä. YAG-laserit voidaan jakaa jatkuvatoimisiin ja pulssattaviin Nd-YAG-lasereihin, Slab-Nd-YAG-lasereihin sekä diodipumpattuihin Nd:YAG-, ND:YVO- ja Yb-YAG-lasereihin. /1, 58-60/ /2, 2.1.3-7/

#### **3.2.1 Jatkuvatoiminen Nd-YAG-laser**

Jatkuvatoimisia Nd-YAG-lasereita hyödynnetään useimmiten robotin suorittamassa leikkaustyössä. Leikkauspää on helpompi ja edullisempi suunnitella kuin hiilidioksidilaserin tapauksessa, sillä säteen muodostukseen käytetään valokuitua peilien sijaan. Kidetanko on Nd-YAG-lasereissa tyypillisesti n. 150 mm pitkä ja 7–10 mm leveä. Yhdestä kidetangosta saadaan n. 800 W teho, joten suuritehoisten laserien valmistus edellyttää useampien kiteiden yhdistämistä. Kiteistä muodoste-

taan usein modulaarisia kokonaisuuksia, jolloin samaa rakennetta voidaan soveltaa eritehoisiin laserlaitteisiin. Jokainen moduuli sisältää oman teholähteensä ja jäähdytys- sekä ohjainyksikkönsä. Modulaarisuus helpottaa huoltotöitä ja alentaa kustannuksia, sillä yksittäinen moduuli on nopea vaihtaa. /1, 60-61/

### **3.2.2 Pulssattava Nd-YAG-laser**

Nd-YAG-lasereista on olemassa myös pulssattavia malleja, joiden rakenne on melko identtinen jatkuvatoimisten laserien kanssa. Teholähde tuottaa virtapulsseja, jotka syötetään viritykseen käytettäville kryptonlamppuille. Ohjausjärjestelmän avulla voidaan säätää pulssin tehoa, muotoa ja toistoa sekä pulssiaikaa. Pulssitoimisten Nd-YAG-laserien nimellisteho on yleensä maksimissaan n. kilowatti, mutta pulssin maksimiteho on 10–20 kertaa laserin nimellisteho. Hyötysuhde on vastaava kuin jatkuvatoimisessa laserissa. /1, 61-62/ /2, 2.1.3-12/

### **3.2.3 Slab-Nd:YAG-laser**

Tälle lasertyypille on ominaista suorakaiteen muotoinen kide, jossa päät on viistetty. Jäähdytys tapahtuu vain kahdelta puolelta, mutta lämpölaajeneminen on hallittua jolloin kide kestää suurempia lämpökuormia. Kiteen jäähdytys voidaan tehdä tehokkaasti, mikä mahdollistaa suuremman pumppausenergian käytön ja tehokkaamman lasersäteen muodostamisen. Säteenlaatu on erinomainen kiteen mallisten muotovääristymien ansiosta. Huonona puolena ovat kuitenkin rakenteen korkea hinta ja säteen työstösuunnan mukaan vaihtelevat ominaisuudet. Slab-lasereista on saatavilla sekä jatkuvatoimisia että pulssattavia malleja. /1, 62-63/

### **3.2.4 Diodipumpattu YAG-laser**

Em. lamppupumpattujen laserien ongelmana on heikko hyötysuhde. Asiaa voidaan korjata käyttämällä kryptonlamppujen tilalla diodeja. Diodien energiankulutus on merkittävästi pienempi, mistä johtuen voidaan 2-3 % hyötysuhteen sijaan päästä jopa 20–25 % kokonaishyötysuhteeseen. Lamppupumpatuissa lasereissa suurin osa energiasta kuluu kiteiden jäähdytykseen, mutta diodien avulla jäähdytystarve vähenee. Toinen merkittävä syy maltillisempaan energiankulutukseen on se, että diodit tuottavat neodyymikiteiden virittämisen kannalta optimaalista 820

nm aallonpituutta. Vähäisempi jäähdystystarve mahdollistaa suuremman tehon käytön yhtä kidettä kohden, jolloin voidaan valmistaa tehokkaampia työstölasereita. Myös huoltokustannukset alenevat, sillä pumppausdiodien elinikä on jopa 10 000 tuntia ja perinteisillä lampuilla vain 500–1000 tuntia. Diodipumppaus onkin jo käytännössä syrjäyttänyt lamppupumppaustekniikan. /1, 63-64/

### **3.2.5 Kiekkolaser**

Kiekkolaserissa tankomainen kide on korvattu kiekkomaisella kiteellä. Kide on suoraan kiinni lämmönvaihtimessa, minkä ansiosta sen lämpötila saadaan pidettyä tasaisena. Pumppaavaa sädettä heijastetaan kiteen pintaan useita kertoja, jolloin pumppausenergia saadaan hyödynnettyä 90-prosenttisesti. Kuparista lämmönvaihdinta jäähdytetään veden avulla ja säteenlaatu pysyy hyvänä, kun muotoväristymää ei lämpötilan tasaisen jakautumisen ansiosta pääse juuri syntymään. Kiekkolaserin avulla voidaan tuottaa korkeita tehoja säteenlaadun kärsimättä, mikä on sen suurin etu kilpaileviin tekniikoihin verrattuna. /1, 64-65/

### **3.3 Diodilaser**

Markkinoiden uusi tulokas on suuritehoinen diodilaser. Rakenne on täysin poikkeava muihin työstölasereihin nähden, sillä se koostuu useista pienistä 1-2 W diodilasereista. Säde muodostetaan diodien kiillotettujen sekä pinnoitettujen päätyjen välillä ja diodit kootaan n. 20 kappaleen nippuihin, jonka mitat ovat n. 10 mm x 0,6 mm x 0,12 mm. Diodien säteet kootaan yhdeksi valoksi, joka tulee nipusta ulos. Lämpäminen asettaa rajan diodinipun maksimiteholle, mutta tehoa voidaan kasvattaa jäähdyttämällä nippua kuparisen lämmönvaihtimen avulla. Lämmönvaihtimeen kiinnitettyyn nippuun lisätään mikrolinssi, jolla säde saadaan yhdensuuntaiseksi. Muutamasta kymmenestä nipusta voidaan muodostaa yksi moduuli. Yhdistämällä useiden moduulien tuottamat säteet samalle optiselle akselille, voidaan valmistaa suuritehoisia lasereita. Säteet yhdistetään erikoisoptiikan avulla.

Diodilaserin hyötysuhde on jopa 30 %, käyttökustannukset pysyvät alhaisina ja rakenne on pienikokoinen sekä yksinkertainen. Ongelmana on polttopisteen suuri koko, mikä vaikeuttaa tarkkaa ja nopeaa laserleikkausta. Kehitystyö on kuitenkin

kovaa ja ensimmäisiä laserleikkaukseen tarkoitettuja diodilasereita on jo markkinoilla. /1, 65-68/ /3/

### **3.4 Kuitulaser**

Kuitulaserissa säde muodostetaan suoraan optisen kuiden sisällä ja kuitu itsessään muodostaa resonaattorin. Kuidun ydin on seostettu laseroivalla väliaineella, jonka pumppaukseen käytetään diodilaseria. Pumppausenergia etenee kuidun sisällä kokonaisheijastuksen ansiosta ilman häviöitä. Tekniikalla saadaan aikaan pieni ja hyvälaatuinen säde kuidun pienen halkaisijan ansiosta. Modulaarista rakennetta hyväksikäyttämällä voidaan valmistaa suuritehoisia lasereita, jotka toimivat hyvin myös paksujen materiaalien leikkaamisessa. /1, 68/ /2, 2.2.2-9/



## 4 TEHTÄVÄNASETTELU

Tuotekehitys aloitetaan ongelman perinpohjaisella selvittämisellä. Laaja selvitystyö on olennainen, jotta vältetään täydennyksiltä ja korjauksilta kehitysprosessin myöhemmissä vaiheissa. Tehtävän helpottamiseksi voidaan pohtia esim. sitä, mistä ongelmassa on kyse, mitä toivomuksia ja vaatimuksia siihen liittyy ja mitkä tiedot ovat kehittäjälle avoimia. On päätettävä myös, mitä ominaisuuksia tuotteella saa ja mitä taas ei saa olla. Valmiiseen tuotteeseen kohdistetut odotukset koostetaan vaatimuslistaan, joka toimii suunnittelun ohjenuorana. /4, 62-63/

### 4.1 Lähtötietojen hankinta

Tässä tapauksessa ongelman ydintä selvitettiin yhdessä Veslatecin toimitusjohtajan ja teknisen päällikön kanssa. Tuotannon haasteena oli levymateriaalien kiinnitys laserleikkuriin leikkausta varten. Joitakin valmiita kiinnittimiä oli olemassa, mutta ne oli suunniteltu tiettyjen vakioitujen tuotteiden valmistukseen. Muissa tapauksissa kiinnitys tapahtui erilaisten palkkien, puristinten ja pikaliiman yhdistelmällä aina tapauskohtaisesti soveltaen.

Tavoitteeksi asetettiin yleismallisen kiinnittimen suunnittelu, joka korvaisi epävarmat viritelmät ja tehostaisi näin tuotantoprosessia vähentämällä kappalekohtaista asetusajaa. Kyseessä oli yksittäisenä kappaleena valmistettava tuote, joka on suunniteltu juuri tiettyyn ympäristöön tietylle koneelle. Suunnittelussa oli kuitenkin huomioita rakenteen yleispätevyys ja pidettävä rakenneratkaisuja tehdessä silmällä myös yrityksen muuta konekantaan. Ajatuksena oli, että samaa perusrakennetta voitaisiin hyödyntää kappaleiden kiinnityksessä useampienkin laserleikkureiden kohdalla.

### 4.2 Vaatimuslista

Vaatimuslistaan kootaan kaikki ne ominaisuudet, jotka kehitettävän tuotteen tulee sisältää (**Taulukko 1.**). Sisältö koostuu vaatimuksista, joiden pitää täytyä kaikissa oloissa ja toivomuksista, jotka otetaan mahdollisuuksien mukaan huomioon. Vaatimukset ovat tyypillisesti selkeitä numeraalisia suureita tai lyhyesti ja täsmällises-

ti ilmaistuja ominaisuuksia. Ne on jaettu kiinteisiin vaatimuksiin ja vähimmäisvaatimuksiin. Toivomuksien ei tarvitse olla yhtä tarkkaan määriteltyjä, mutta nekin asetetaan tärkeysjärjestykseen, ja suunnittelussa painotetaan ominaisuuksia niille asetetun painokertoimen mukaan. Vaatimuslistaan palataan suunnittelun joka vaiheessa ja varmistetaan, että sen hetkinen ratkaisumalli täyttää alussa asetetut määritelmät. /4, 64-67/

Vaatimuslistan laatimista varten järjestettiin erillinen tapaaminen, jossa tehtyjen muistiinpanojen pohjalta sovittiin kiinnittimen ominaisuuksista. Ominaisuudet määrittelee aina tilaaja ja eri osa-alueisiin kohdistuvat vaatimukset lajitellaan niiden luonteen mukaan. Geometrisiin ominaisuuksiin kuuluivat mm. kiinnittimen mitat ja työalue, voimiin maksimipaino, ergonomiaan vaivaton säädettävyyys ja aineksiin tiettyjen osien materiaalivaatimukset. Toivomuksia olivat esim. valmistettavuus yrityksen olemassa olevalla laitteistolla ja mahdollisuus hyödyntää samaa perusrakennetta suunniteltaessa kiinnittimiä muille vastaavanlaisille laserleikkureille.

Kiinnittimen rakennetta määritteli vaatimus imulaatikosta. Ideana oli, että apuna käytetään yrityksen tiloista löytyvää imujärjestelmää, joka liitetään valmistettavaan kiinnittimeen. Kappaleiden kiinnitys tapahtuu osittain alipaineen avulla ja epäpuhtaudet sekä irtoava aines saadaan heti imettyä pois leikkaustapahtumaa häiritsemästä. Leikattavien materiaalien vahvuus vaihtelee välillä 0,02–5 mm, ja myös aihoiden leveys sekä pituus muuttuvat tilauksesta toiseen. Säättömahdollisuuksia tuli siis olla ja niiden käytön oli oltava vaivatonta. Osa kappaleista vaatii alleen tukiritilän leikkauksen ajaksi ja osassa tapauksista materiaali on ilmassa vain reunoistaan kiinnitettynä. Ritilän oli siis oltava irrotettavaa mallia. Suurempia sarjoja valmistettaessa leikattavaa vakiolevyistä levyä syötetään suoraan kelalta, joten suunnittelussa oli otettava huomioon kiinnittimen päätyjen esteettömyys kyseistä tuotantotapaa ajatellen.

**Taulukko 1. Vaatimuslista.**

Päätunnus	KV,VV, T		Toiv. tärkeys (1-5)
Geometria	KV	Työalue 320x520 mm	
Geometria	KV	Fyysiset mitat n. x=650 mm, y=400 mm, z=150 mm	
Voimat	KV	Paino max. 15 kg	
Geometria	KV	Säädettävä y-suunta	
Geometria	VV	Kiinnityksen min. y-suunta 5 mm	
Geometria	KV	Kiinnitettävyyys 0,02-5 mm paksuille materiaaleille	
Geometria	KV	Kiinnitettävyyys kelalla olevalle materiaalille, jonka mitat y-suunnassa 320 mm	
Geometria	KV	Irrotettava alalaatikko tippuvien osien keräämiseksi	
Aines	KV	Alalaatikon materiaalina kupari	
Geometria	KV	Peitelevy imutehon säätöä varten	
Geometria	KV	Irrotettava materiaalien kannatusritilä	
Aines	KV	Kannatusritilän materiaalina kupari	
Geometria	KV	Liitettävyyys imuputkeen, joka tulee kiinni alalaatikkoon	
Geometria	KV	Mekanismi leikattavan levyn kiristämistä varten	
Ergonomia	T	Vaivaton säädettävyyys erikokoisille aihioille	5
Valmistus	T	Valmistettavuus mahdollisimman pitkälle Veslatecin koneilla (laserleikkaus, särmäys)	5
Geometria	T	Säädettävä x-suunta	3
Geometria	T	Sama takenne ja perusperiaate hyödynnettävissä myös muiden koneiden kiinnittimiin	5

## 5 LUONNOSTELU

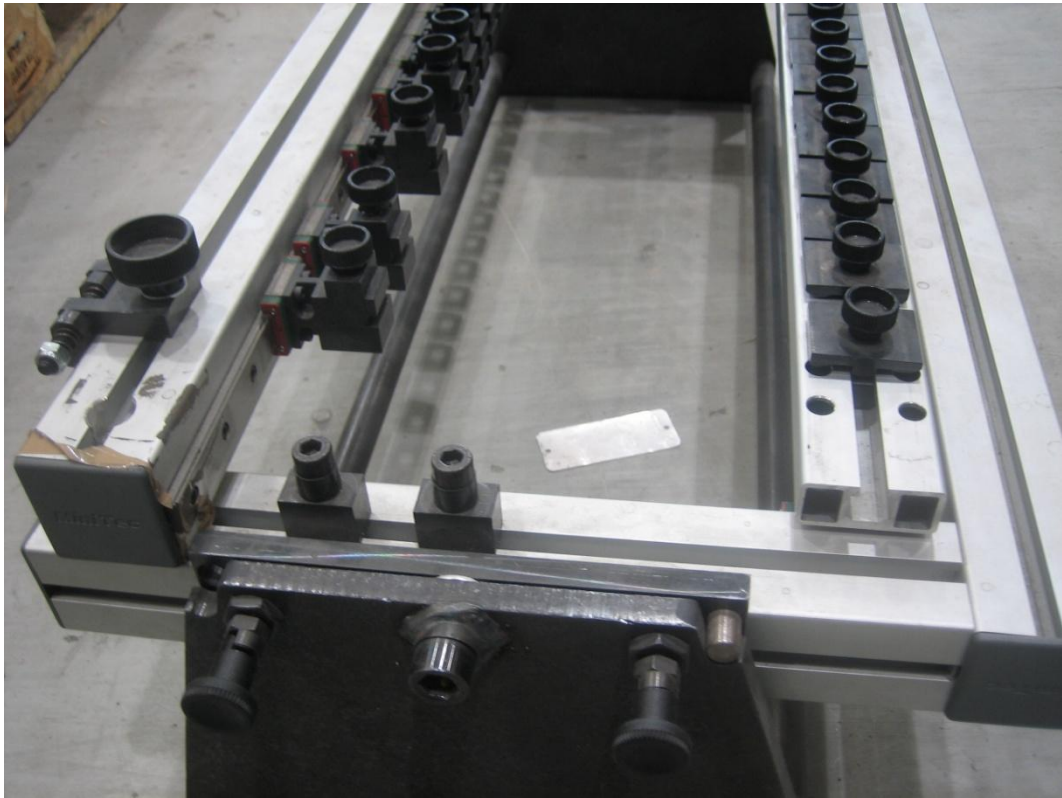
Luonnosteluvaiheessa etsitään mahdollisimman suuri määrä erilaisia ratkaisuehdotuksia kehitettävän tuotteen toteuttamiseksi. Ideoita havainnollistetaan käsivaraisesti piirrettyjen luonnosten avulla, mutta vältetään tarkkojen piirustusten laatimista. Ajatusten ja ideoiden synnyttämiseksi voidaan käyttää erilaisia aivorihi-tyyppisiä tilaisuuksia, joissa asiaa käsitellään suuremman joukon voimin. Eri ihmisten erilaiset ehdotukset yhdistyvät ja mahdollisesti luovat aina vain uusia ratkaisumalleja.

Ideointiprosessissa kehitettävä tuote voidaan jakaa osatoimintoihin. Jokaiselle osatoiminnolle etsitään useampia vaihtoehtoja, jotka asetetaan paremmuusjärjestykseen mm. sen mukaan, millaisia kustannuksia ne aiheuttavat ja kuinka toteuttamiskelpoisia ratkaisut ovat. Vaatimuslista pidetään mukana ja varmistetaan, että jokainen kohta täyttyy. Parhaaksi todetut vaihtoehdot otetaan jatkokehittelyyn. /4, 71-93/ /5, 21-24/

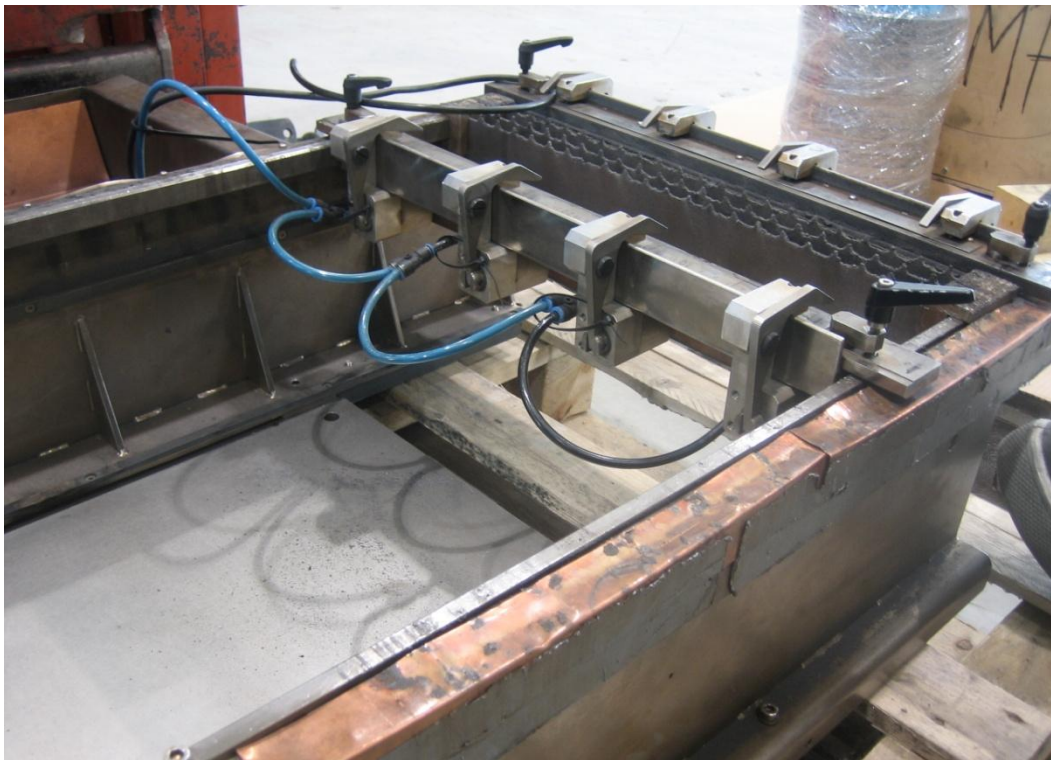
### 5.1 Ideointi

Kiinnittimen toiminta jaettiin neljään osaan ja jokaiselle toiminnolle ideointiin muutama ratkaisuvaihtoehto. Ratkaisuja haettiin yhdessä yrityksen teknisen päällikön kanssa kahdessa noin tunnin mittaisessa tapaamisessa. Ajatuksia havainnollistettiin luonnosten avulla.

Yrityksen tiloissa oli muutama vanha kiinnitin, joiden hyvät ja huonot puolet käytiin läpi. Käytännössä jokaisesta kiinnitinmallista poimittiin jokin piirre tai rakenne mahdollisten ratkaisuvaihtoehtojen joukkoon Esim. alumiiniprofiili runkomateriaalina (**Kuvio 1.**), pneumaattinen mekanismi materiaalin kiinnitykseen (**Kuvio 2.**) ja levystä rakennettu imulaatikko olivat käytössä aiemmissä malleissa, vaikka-kaan eivät kaikki samassa kiinnittimessä. Hyvien puolien määrittelyssä käytettiin apuna tuotannossa työskentelevien kokemuksia ja näkemyksiä aiheesta. Tiedot saatiin haastatteleamalla ja keskustelun pohjalta tehtiin muistiinpanoja.



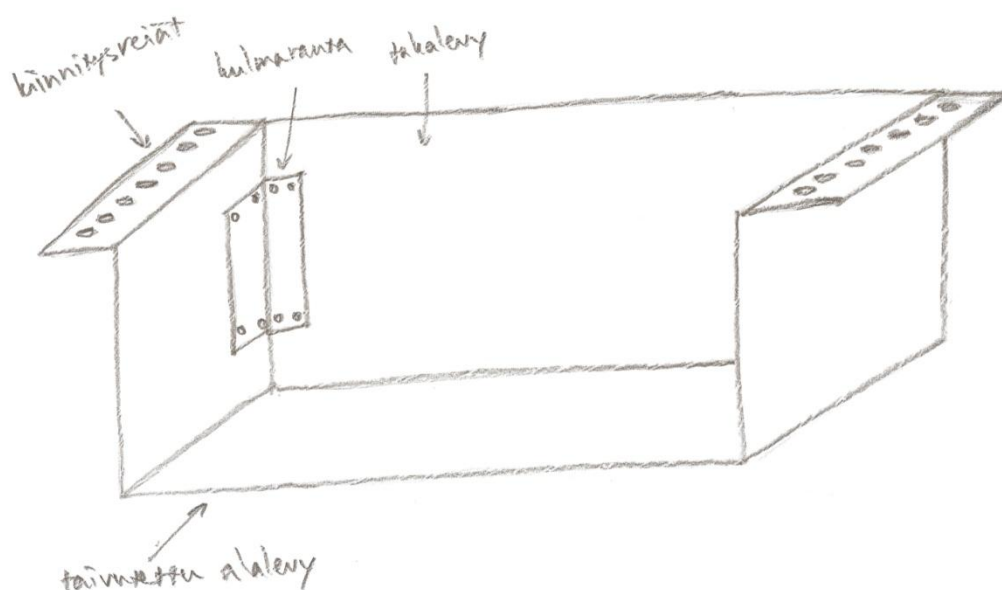
**Kuvio 1.** Alumiiniprofiilista valmistettu kiinnitin.



**Kuvio 2.** Kiinnitin pneumaattisella puristusmekanismilla.

## 5.2 Ratkaisuvaihtoehdot

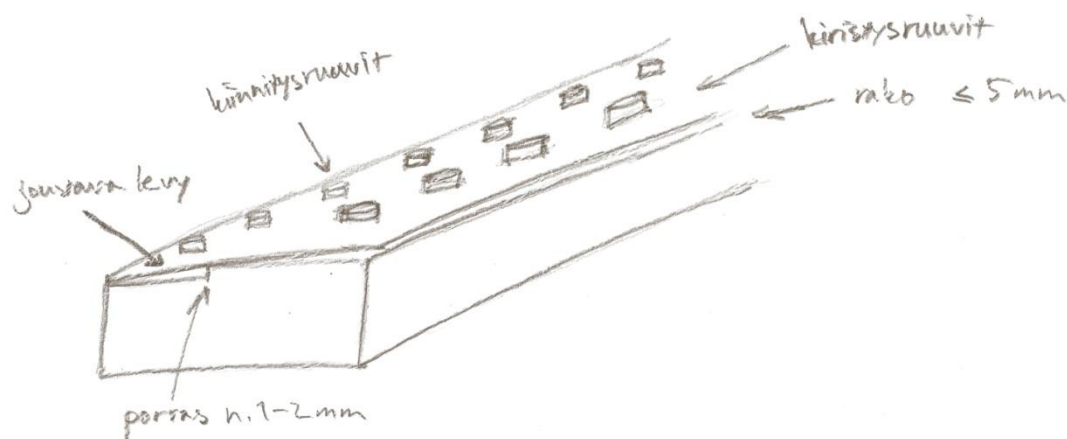
Runkorakenteen toteutukseen oli vaihtoehtoina palkeista hitsaamalla rakennettu tai levystä särmäämällä ja pulttikiinnityksillä kokoonpantu rakenne. Lisäksi harjittiin valmiista alumiiniprofiilista koottua kehikkoa. Hitsaamalla rakenne saatiin lujaksi ja yksinkertaiseksi, mutta valmistustapaan ei Veslatecissa ollut asiantuntemusta mikä teki mittatarkkuudesta mahdollisen ongelman. Alumiiniprofiilin hyvänä puolena oli helppo kokoonpantavuus, keveys ja mittatarkkuus. Osia oli saatavana vain tietynlaisia, joten se asetti omat rajoituksensa toteutukselle. Levyrakenteessa etuna oli se, että kaikki osat ja vaiheet oli mahdollista valmistaa yrityksen laitteilla ja osaamisella, jolloin kustannukset jäivät alhaisiksi (**Kuvio 3.**). Haasteena oli osien särmääminen vaadittavaan tarkkuuteen.



**Kuvio 3.** Luonnos levyrakenteisesta rungosta.

Leikattavien aihoiden kiinnitykseen ensimmäinen vaihtoehto oli valmiina saatavien puristinten käyttö. Käsikäyttöisiä ja säädettäviä puristimia oli saatavilla suuri määrä eri malleja, mutta mahdollisena ongelmana oli silti mekanismien suuri koko ja sijoittelu siten, että käyttö sekä säätö oli vaivatonta. Hyvänä puolena voitiin pitää valmista ja toimivaa puristusta, jolloin suunnittelussa ei tarvinnut tuhlaa resursseja jo olemassa olevien ratkaisujen uudelleen keksimiseen. Manuaalinen pu-

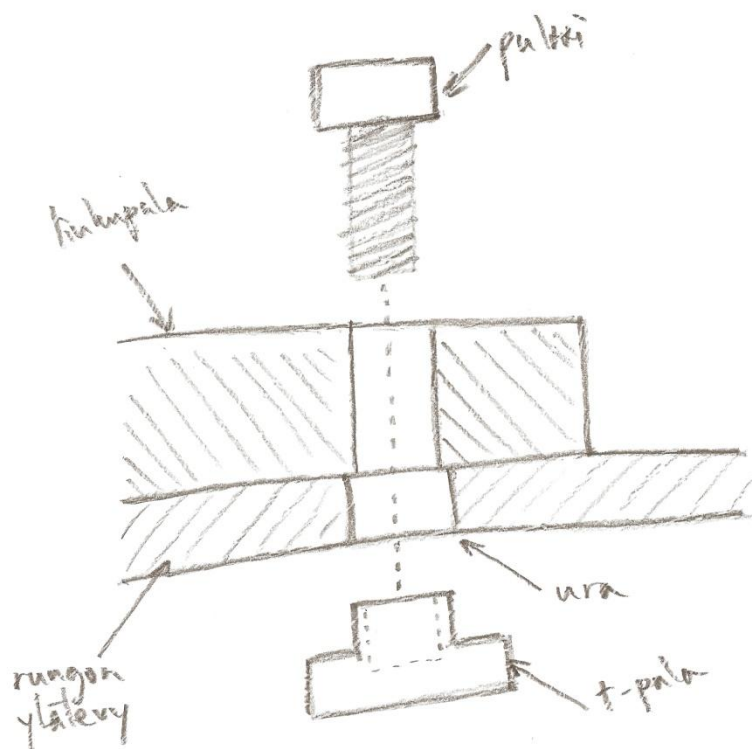
ristus ruuvien ja levyn avulla oli toimivaksi todettu vaihtoehto, tosin pneumaattisena mallina. Toimintaperiaate on se, että puristuksen alapintana on taso, jossa on pieni, noin parin millin pykälä (**Kuvio 4.**). Sen päälle kiinnitetään joustava levy siten, että alempaan tasoon kiinnittyvät pultit kiristetään tiukkaan, jolloin levyn toisen reunan ja alapinnan tason väliin jää rako. Tuota rakoja voidaan kiristää ja löysätä pulttien (tai pneumaattisen mekanismin) avulla ja leikattava materiaali voidaan kiinnittää siten, että puristus jakautuu koko reunan alalle. Pneumaattisesta kiinnityksestä oli myös toinen esimerkki, jossa puristus tapahtui ilmatoimisten kiinnityskyönsien avulla. Kummatkin menetelmät olivat toimivia, mutta pneumaatiikkaan liittyi vaara kasvavista kustannuksista ja ylimääräisistä huoltokohteista. Viimeinen vaihtoehto oli valmiina osto-osana saatavien muovikiinnikkeiden käyttö. Ne oli suunniteltu toimimaan erityisesti alumiiniprofiilien urien kanssa, joten se asetti omat rajoituksensa runkorakenteelle.



**Kuvio 4.** Luonnos ruuvipuristukseen perustuvasta kiinnitystavasta.

Liukumekanismin tarkoituksena oli mahdollistaa kiinnityspisteiden säätö erikoisille aihioille sopivaksi. Puristimet piti siis saada jollakin tapaa sopivalle kohdalle siten, että kiinnitys pysyi edelleen varmana ja tukevana. Yksi tapa oli levystä läpi menevä ura, jota pitkin säätö tapahtui ja paikalleen kiristys onnistui pultin ja vastinkappaleena toimivan t-palan avulla (**Kuvio 5.**). Etuna oli yksinkertainen toimintatapa ja edullinen toteutus. Toinen vaihtoehto oli esim. alumiiniprofiili, johon oli saatavilla erilaisia laakeroituja liukuosia. Haasteena oli löytää juuri ky-

seiseen toimintaympäristöön sopivia osia ja toisaalta liiallinen hienomekaniikka oli tarpeetonta. Ruuvipenkistä kopioitu säätötapa oli tukeva ja etäisyyden muuttelu onnistui hallitusti. Ongelmana oli saada molemmat kiinnityspisteet helposti säädettäväksi ilman, että kiinnittimen ulkomitat kasvoivat liian suuriksi.



**Kuvio 5.** Luonnos liukumekanismin lukituksesta.

Imulaatikon materiaalivaatimukseksi oli asetettu kupari. Se teki hitsatusta rakenteesta hankalamman valmistaa kuin levystä särmätyn ja esim. niiteillä kokoonpannun. Valmiita sopivia laatikkoja ei juuri ollut saatavilla ja modifiointi oli joka tapauksessa tarpeen. Lisäksi kiinteät ulkomitat määrittivät kiinnittimen muiden osien suunnittelua.

1. runko
  - a. hitsattu rakenne
  - b. alumiiniprofiili
  - c. levyrakenne
2. leikattavan materiaalin kiinnitys
  - a. valmis puristin



- b. manuaalinen puristus ruuvien, levyn ja koneistetun liukupalan avulla
  - c. pneumaattinen mekanismi
  - d. valmiit muovikiinnikkeet
3. liukumekanismi
- a. liuku-ura, jossa kiristys t-palan ja pultin avulla
  - b. valmiina saatava kisko ja liukupalat
  - c. kierretanko ruuvipenkin tapaan
4. imulaatikko
- a. levyrakenne
  - b. hitsattu rakenne
  - c. valmis laatikko

### 5.3 Valinta

Eri ratkaisuvaihtoehdot kirjattiin taulukkoon, jota käytettiin apuna parhaan jatkokehittelyyn otettavan toteutuksen valinnassa (**Taulukko 2.**). Jokaisen osatoiminnon kohdalla arvioitiin sitä, miten hyvin idea täyttää vaatimuslistan ehdot, kuinka toteuttamiskelpoinen se on, mitkä ovat kustannukset ja kuinka käytännöllinen kyseinen ratkaisu on. Myös toiminnallisuutta arvioitiin eli sitä, miten hyvin idea kattaa käyttötarkoitukselleen asetetut vaatimukset.

**Taulukko 2.** Arvostelutaulukko.

Osatoiminto	Arvosteluperusteet							Kehittelyyn
	Vaihtoehto	Täyttää vaatimuslistan	Toteuttamiskelpoisuus	Kustannukset	Käytännöllisyys	Toiminnallisuus	Tulos	
Runko	a	1	3	2	3	2	11	c
	b	2	2	2	1	1	8	
	c	1	1	1	2	1	6	
Kiinnitys	a	1	3	3	1	1	9	b
	b	1	1	2	2	2	8	
	c	1	3	3	2	1	10	
	d	1	2	1	3	2	9	
Liuku	a	1	1	1	1	1	5	a
	b	1	2	2	2	1	8	
	c	1	1	2	2	1	7	
Imulaatikko	a	1	1	1	1	1	5	a
	b	1	2	2	1	1	7	
	c	2	2	3	2	2	11	

Taulukon perusteella jatkokehittelyyn valikoitui levyrakenteinen runko, jossa materiaalin kiinnitys tapahtuu manuaalisen puristuksen avulla levyä ja koneistettua alaosaa hyödyntäen. Etäisyyden säätö onnistuu liuku-urassa kulkevan t-palan ja

pultin yhdistelmällä, joka toimii samalla myös kiristysmekanismina etäisyyttä lukiittaessa. Imulaatikon parhaaksi toteutustavaksi havaittiin levyrakenne. Samaan tapaan kuin rungonkin kohdalla osat ensin laserleikataan, sitten särmätään ja lopuksi kasataan pulttien tai niittien avulla.

Valintavaiheessa oli muistettava varmistaa vaatimuslistan sisältö ja osoitettava se, että seuraavaan vaiheeseen valittu toteutustapa täyttää kaikki kohdat.

## 6 KEHITTELY

Kehittelyvaiheessa luonnostelussa aikaansaadut ideat ja toteutusvaihtoehdot suunnitellaan lähes valmiiksi tuotteeksi. Periaatteelliset kuvitelmat jalostetaan konkreettiseksi rakennemuotoiluksi, mikä tarkoittaa mm. päämittojen vahvistamista ja valmistusmenetelmien valintaa. Tavoitteena on saada aikaan lopullinen kokoonpanorakenne, jossa osien yhteensopivuus on varmistettu.

Eri toimintojen osa-alueet vaikuttavat toisiinsa, joten yhtä suoraviivaista työjärjestystä ei voida noudattaa. Voidaan kuitenkin edetä karkeammasta suunnittelusta kohti tarkempia yksityiskohtia. Ensin otetaan huomioon vaatimuslistasta löytyvät mittoja, järjestystä ja työaineksia määräävät vaatimukset, sen jälkeen tilaehdot eli esim. vaaditut etäisyydet tai asennusympäristön asettamat rajoitteet, jonka jälkeen luonnostellaan kehiteltävä kokoonpanorakenne. Tästä karkeasta mallista voidaan alkaa työstää tarkempia versioita, joissa otetaan huomioon tuotteelta vaaditut vielä luonnostelematta jääneet toiminnot ja niiden toteutustavat. Vaiheen lopuksi aikaansaatu kokonaiskehitemä tarkastetaan, vahvistetaan ja luovutetaan viimeistelyyn. /4, 176-180/

### 6.1 Mitoitus

Kiinnittimen suunnittelussa oli joitakin olennaisia mitoitusmäärittäviä tekijöitä. Tällaisia olivat mm. imulaatikkoon kytkettävän letkun halkaisija, vaaditun työalueen koko ja asennusympäristön asettamat rajat ulkomitoille. Korkeutta rajoitti laserleikkauspää, joka ei missään tapauksessa saanut osua kiinnittimeen, mikä piti ottaa huomioon erityisesti työalueen reunojen rakenteissa, kuten leikattavan materiaalin kiinnitystavassa.

Rungon päämitat saatiin melko pitkälle em. rajoitteiden ja vaatimusten avulla. Kiinnitystapaa valitessa oli jo luonnosteluvaiheessa valittu jatkokehittelyyn kaikin matalin vaihtoehto, joten toiminnon sovittaminen kävi helposti. Kiinnityspisteen alapinnan tuli olla kuitenkin sen verran korkea, että se oli samalla tasolla tarvittaessa käytettävien leikkausalustojen yläpinnan kanssa. Leikkausalustan kiinnitystapa taas edellytti tiettyä vähimmäiskorkeutta. Ura liukumekanismia varten saa-

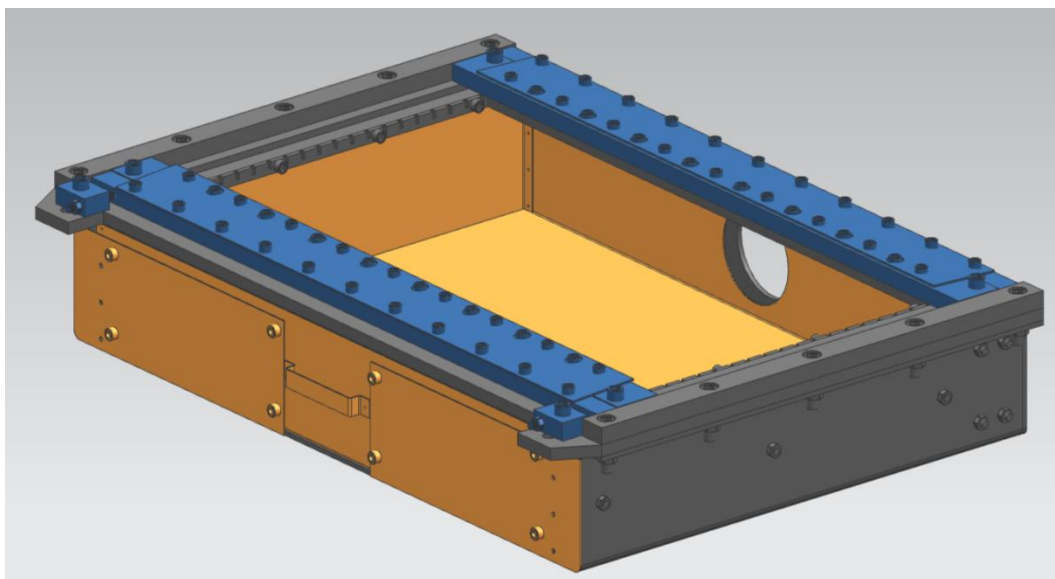
tiin sovitettua osaksi rungon ylälevyä ja siten rungon rakennetta. Imulaatikolla täytettiin jäljelle jäänyt tila ja vaatimuksena oli ainoastaan se, että laatikon pinta-ala kattaa koko käytettävän työalueen, jolloin putoavat osat saadaan kaikki talteen ja imu kohdistuu koko leikattavan levyn alalle.

## 6.2 Mallinnus

Suunnittelun työvälineenä käytettiin 3D-mallinnusta. Käytössä oli Siemens NX 8 -ohjelmisto, joka oli saatavilla ammattikorkeakoulun tiloissa. Mallinnukseen päädyttiin, koska 3D-kuvat auttavat hahmottamaan kokonaisuutta, helpottavat osien yhteen sovittelua ja muutokset yhdessä osassa päivittyvät automaattisesti kaikkiin ympäristöihin, kuten piirustuksiin ja kokoonpanomalleihin. Menetelmä vähentää virheiden mahdollisuutta, jolloin aikaa ja rahaa säästyy. Samoista syistä mallinnus on olennainen osa nykyaikaista tuotesuunnittelua ja siksi luonnollinen valinta myös opinnäytetyön yhteydessä.

Työ aloitettiin rungon osien mallinnuksella. Ensin hahmoteltiin karkeat rakenteet päämittojen ja käsivaraluonnosten perusteella, jonka jälkeen edettiin hiljalleen kohti tarkempia yksityiskohtia. Muutoksia tehtiin tarpeen mukaan, mikäli osat eivät sopineet yhteen tai asennus vaati enemmän tilaa. Rungon 3D-mallia käytettiin apuna myös ratkaisujen hyväksynnässä, kun oli tarpeen havainnollistaa yrityksen edustajalle prosessin sen hetkistä tilannetta.

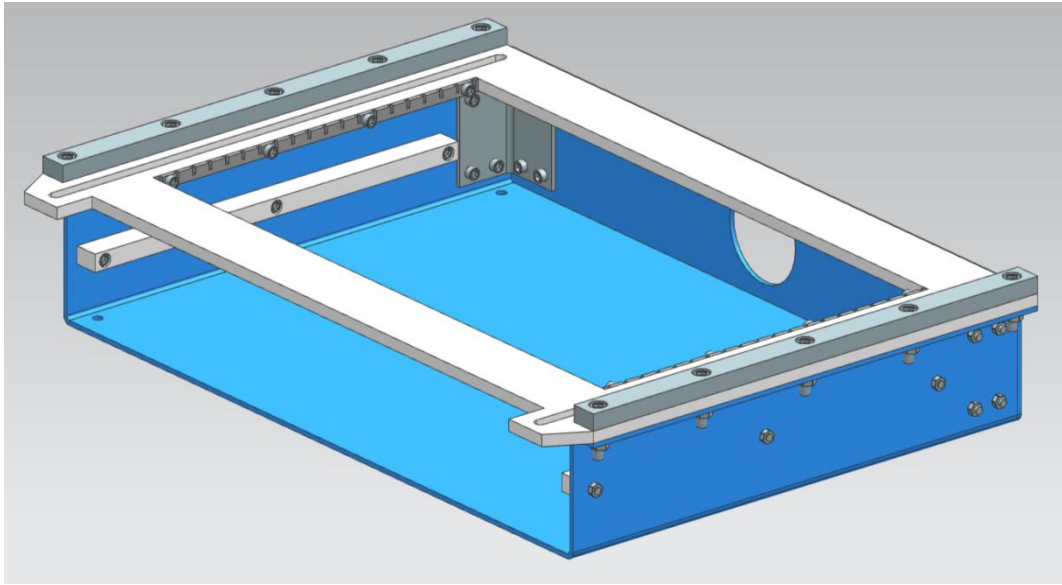
Rungon perusteella mallinnettiin kiinnitysmekanismin osat ja tehtiin toiminnosta oma osakokoonpanonsa. Samoin tehtiin imulaatikon kohdalla. Lopuksi rungon, kiristysmekanismin ja imulaatikon mallit koottiin yhdeksi kokonaisuudeksi, johon lisättiin vielä tarvittavat kiinnitysosat kuten pultit ja mutterit (**Kuvio 6.**). Samalla tarkastettiin osien yhteensopivuus ja tehtiin viimeiset muutokset havaittujen ongelmien perusteella, mm. liukumekanismin t-paloille jäävää tilaa oli tarpeen kasvattaa.



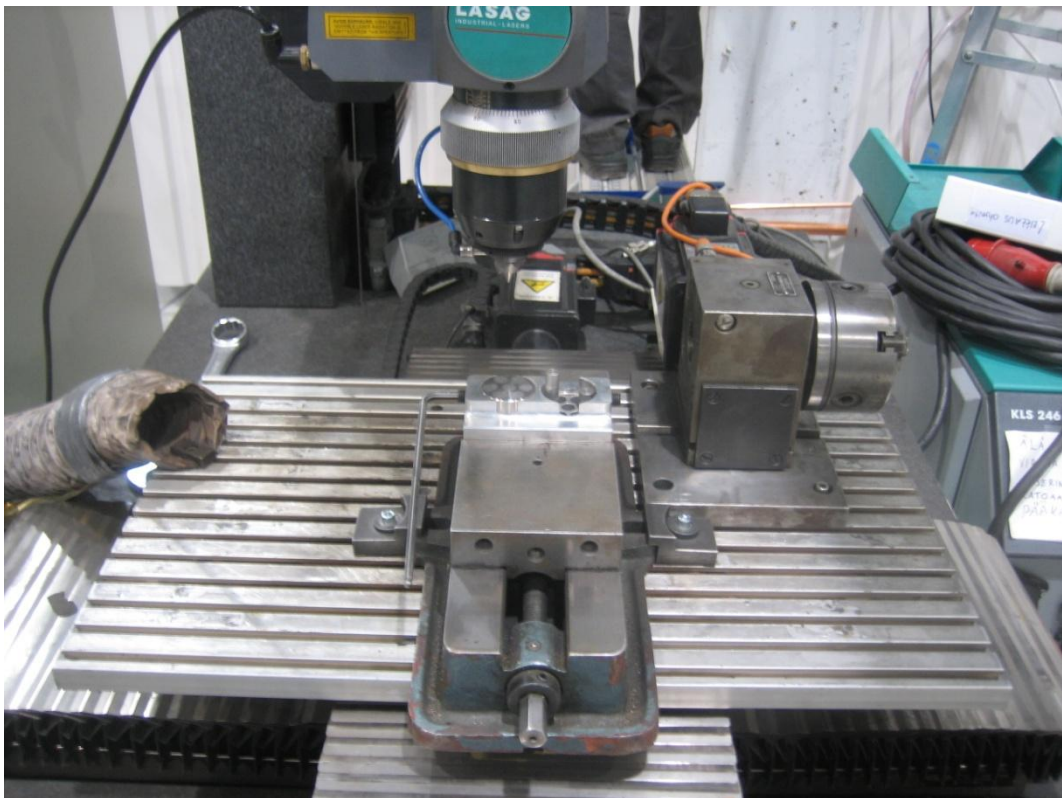
**Kuvio 6.** Kiinnittimen 3D-malli.

### 6.3 Rakenne

Runko koostuu kolmesta pääosasta: alalevystä, takalevystä ja ylälevystä (**Kuvio 7.**). Osat kiinnittyvät toisiinsa pulttien ja kulmarautojen avulla, jolloin rakenteesta tulee tukeva. Ylälevyssä on ura molemmilla reunoilla ja urien avulla tapahtuu kiinnityspisteiden etäisyydensäätö. Imuletku tulee läpi takalevyn keskellä sijaitsevasta reiästä. Alalevyn sivuille on kiinnitetty rajoitinpalat, joiden avulla imulaa-  
tikko asemoidaan oikealle kohdalle. Ylälevyn vastakkaisilla sisäreunoilla on kam-  
pamaiset osat leikkausalustojen kiinnitystä varten. Niiden rakoihin voidaan asen-  
taa tarvittava määrä kuparilattoja, jotka tukevat leikattavaa levyä. Ylälevyssä on  
lisäksi reunoilla korotuspalat, joiden yläpinta on samalla tasolla liukumekanismin  
palkkien kanssa. Runko kiinnitetään alalevynsä nurkista laserleikkuriin M8-  
kokoisilla pulteilla. Koneen alustassa on uria, joihin sijoitettavia vastakappaleita  
vasten paikalleen kiristys onnistuu (**Kuvio 8.**).

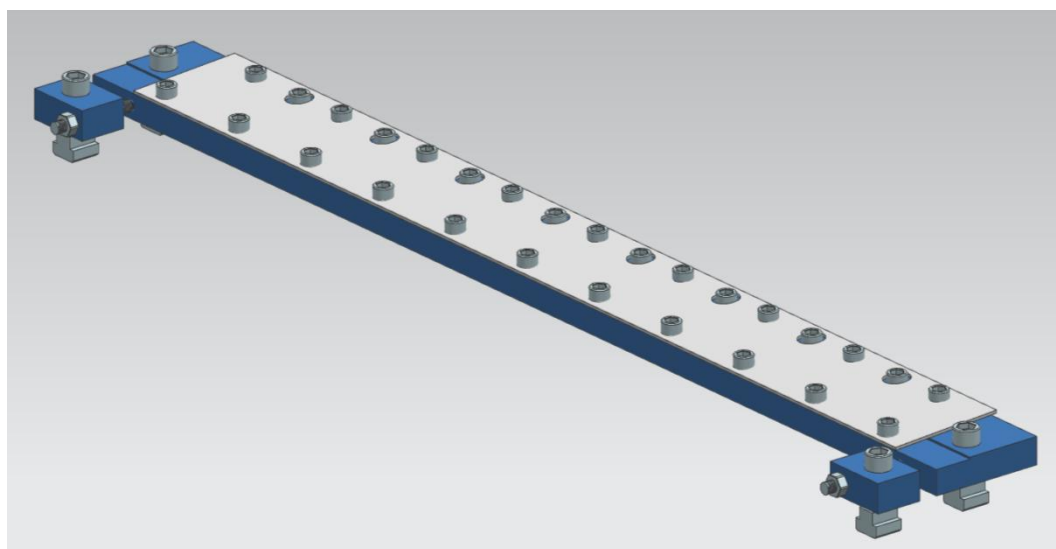


**Kuvio 7.** Kiinnittimen rungon 3D-malli.



**Kuvio 8.** Laserleikkauskoneen ympäristö.

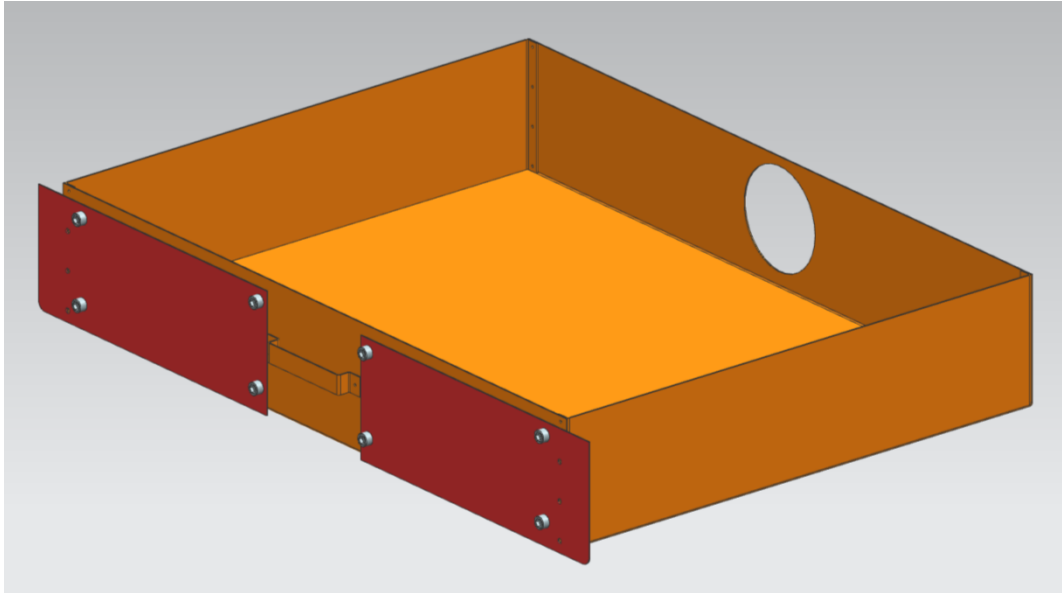
Kiinnitysmekanismeissa on paksu alaosa, johon on työstetty porras ja kierteet reikiin (**Kuvio 9.**). Alaosan päälle on kiinnitetty joustava ylälevy, jonka toinen reuna on kiristetty alaosan alempaan tasoon pulttien avulla. Ylälevyn toista ilmaan jäävää reunaa saadaan kiristettyä ja löysättyä pulttien avulla, mikä mahdollistaa leikattavan levyn kiinnityksen. Leikattava materiaali asemoidaan rajoitinpulttien avulla, jotka on ruuvattu pohjaan saakka. Ylälevyissä on suuremmat reiät rajoitinpulttien kantoja varten. Alaosan päädyissä on reiät etäisyydensäädön lukitusta varten. Pultti kulkee reiästä läpi ja sen vastinkappaleena on t-pala, joka kiristyy rungon ylälevyn uraa vasten. Toista liukuosaa saa kiinnitystä tehdessä kiristettyä siihen kierretangolla liittyvän kiristyspalikan avulla. Toiminta perustuu siihen, että leikattavan levyn kiinnitystä tehdessä kiristysmekanismillinen liukupala jätetään lukitsematta, jolloin paikalleen lukitun kiristyspalikan mutteria kiristämällä saadaan liukupalaa liikutettua hieman ja näin pingotettua leikattava levy mahdollisimman kireälle. Vastakkaisen liukupalan tulee luonnollisesti olla jo paikalleen lukittuna kiristystä tehdessä.



**Kuvio 9.** Kiristysmekanismillisen liukupalan 3D-malli.

Imulaatikon runko koostuu kolmesta osasta (**Kuvio 10.**). Päädyt ja alaosa koostuvat samasta taivutetusta kappaleesta, jossa on reiät imuletkua, kahvaa ja kokoonpanoa varten. Sivuosat ovat identtiset ja niiden taivutettuihin reunoihin on leikattu kiinnitysreiät. Osat kiinnittyvät toisiinsa niittien avulla. Laatikon etureunassa on

aukot, jotka on peitetty kahdella pulttikiinnitteisellä levyllä. Imuvoimaa voi vähentää irrottamalla levyt. Lisäksi etureunassa on niiteillä kiinnitetty kahvaosa.



**Kuvio 10.** Imulaatikon 3D-malli.



## 7 VIIMEISTELY

Viimeistelyvaiheessa tuote täydennetään lopulliseen muotoonsa. Osiin ja kokoonpanoon tehdään viimeiset muutokset, mikäli sellaisille tarvetta on, ja hiotaan yksityiskohdat kuntoon esim. valmistusta ajatellen. Valmistusmenetelmät lyödään lukkoon ja päätetään, mitä hankitaan valmiina, mitä jatkojalostetaan alihankinnan kautta ja mitä tehdään itse. Eri osille määritellään viimeistään tässä vaiheessa materiaalit ja pintakäsittelytavat.

Tärkeä osa viimeisessä vaiheessa on tarvittavien dokumenttien tuottaminen valmistusta, asennusta ja käyttöä varten. Osista tehdään piirustukset ja kokonaisuudesta kokoonpanokuvat osaluetteloineen. Lisäksi tarvetta saattaa olla käyttöohjeille, joissa on opastettu tuotteen turvalliseen käyttöön. Lopuksi on tärkeää tarkastaa kaikki aikaansaadut kuvat ja varmistua siitä, että tarvittavat mitat ja tiedot valmistusta varten ovat olemassa.

Viimeistelyvaihe sisältää myös prototyypin valmistuksen, jolloin saatujen kokemusten perusteella voidaan tehdä vielä muutoksia ennen varsinaisen tuotannon aloittamista. Mm. rakenteiden toimivuus, valmistustekniset yksityiskohdat ja materiaalinkäytön optimointi ovat asioita, joita ensimmäisen valmiin tuotteen myötä saadaan testattua ja kehitettyä. /4, 458-460/

### 7.1 Materiaalivalinnat

Materiaalien valintaa määritteli melko pitkälle se, mitä Veslatecin varastossa oli valmiina saatavilla. Eri osien toiminnot asettivat myös omat vaatimuksensa valmistusmateriaalin ominaisuuksille. Kiinnittimen paino pyrittiin pitämään kurissa, joten osa rungon osista on alumiinisia. Kierteitä sisältävät osat on kestävyyttä ajatellen suunniteltu teräksestä valmistettavaksi. Imulaatikko on kuparia, sillä siihen leikkausprosessissa irtoava aine tarttuu mahdollisimman huonosti ja materiaalivaatimus oli esitetty myös vaatimuslistassa. Imulaatikon sivuja vasten tulevat rungon osien kohdalla päädyttiin muoviin, koska tarvetta vahvemmalle ainekselle ei ollut ja keveys oli tavoiteltava asia. Jousiterästä käytetään liukupalojen ylälevyis-

sä, sillä materiaalin joustavuus ja väsymislujuus on tärkeää kiinnitysmekanismin toimivuuden kannalta.

- teräs
  - rungon ylälevy
  - rungon korotuspalat
  - liukupalat
  - liukupalan kiristysosat
- alumiini
  - rungon alalevy
  - rungon takalevy
  - kampaosat leikkausalustan kiinnitystä varten
  - kulmaraudat
- kupari
  - imulaatikon alalevy
  - imulaatikon sivulevyt
  - imulaatikon peitelevyt
  - leikkausalustan latat
- polypropeeni
  - rungon liukupalat laatikon asemointia varten
- jousiteräs
  - liukupalojen ylälevyt

## 7.2 Valmistusmenetelmät

Suunnittelun yhtenä lähtökohtana oli se, että mahdollisimman suuri osa osista saadaan valmistettua yrityksen tiloissa. Tällaisia työvaiheita ovat laserleikkaus, särmäys sekä poraus ja kierteitys pienten manuaalisesti valmistettavien osien kohdalla. Liukupalat ja muoviosat sisältävät vaiheita, jotka edellyttävät alihankintaan turvautumista.

- rungon ylälevy
  - laserleikkaus
  - poraus
  - kierteitys
- rungon alalevy
  - laserleikkaus
  - särmäys
- rungon takalevy
  - laserleikkaus

- rungon korotuspalat
  - laserleikkaus
  - jyrsintä
  - poraus
- kulmaraudat
  - laserleikkaus
  - särmäys
- liukupalat
  - laserleikkaus
  - jyrsintä
  - kierteitys
- liukupalan kiristysosat
  - laserleikkaus
  - poraus
- liukupalojen ylälevyt
  - laserleikkaus
- imulaatikon alalevy
  - laserleikkaus
  - särmäys
- imulaatikon sivulevyt
  - laserleikkaus
  - särmäys
- imulaatikon kahva
  - laserleikkaus
  - särmäys
- imulaatikon peitelevyt
  - laserleikkaus
- kampaosat leikkausalustan kiinnitystä varten
  - laserleikkaus
- muovipalat
  - sahaus
  - poraus

### 7.3 Osto-osat ja alihankinta

Liukumekanismin paikalleen kiristystä varten tarvittavat t-palat löytyivät tuoteluettelosta. Lisäksi valmiina ostettavia osia ovat runkoon kiinnittyvät muoviosat, jotka toimittaa Etra, ja kiinnitysosat, kuten pultit, mutterit ja niitit.

Liuku- ja korotuspalojen valmistus edellyttää jysintää, joten ainakin koneistustyö on suunniteltu alihankintana tehtäväksi. Samalla saadaan tehtyä myös tarvittavat reiät ja kiertet.

#### **7.4 Pintakäsittely**

Kiinnittimeen ei kohdistu erityistä rasitusta kosteuden puolesta, eikä pintojen ulkonäkö ole olennainen asia toimivuuden kannalta. Pintakäsittelylle ei siis nähty todellista tarvetta. Esim. imulaatikon toimivuuden kannalta on tärkeää, että kuparipinta on käsittelemätön, jolloin se on helppo pitää puhtaana ja leikkauksen aikana irtoava aines tarttuu laatikkoon mahdollisimman huonosti.

## 8 LOPPUPÄÄTELMÄT

Tuotekehitysprosessin osalta noudatettiin aiottua kaavaa ja työssä edettiin vaihe vaiheelta. Apuna käytettiin erilaisia ideointimenetelmiä ja luonnostelua, mikä lisäsi ratkaisuvaihtoehtojen määrää. Lisäksi yrityksen edustajia haastatteleamalla saatiin tietoa jo toimivaksi todetuista ratkaisuista ja arvioita uusien toteutuksien toimivuudesta.

Suunnittelun yhtenä työkaluna käytettiin 3D-mallinnusta, jolloin mallien pohjalta voitiin varmistua osien yhteensopivuudesta ja mittojen toimivuudesta. Samalla saatiin laadittua valmistukseen tarvittavat dokumentit kuten piirustukset ja osaluettelot. Myös valmistusmenetelmät ja käytettävät materiaalit määriteltiin, joten kaikki edellytykset valmistukselle onnistuttiin täyttämään.

Kiinnitin jäi tämän työn osalta suunnitteluasteelle, sillä prototyypivaiheeseen ei aikataulun puitteissa päästy. Tarkoitus on kuitenkin pyrkiä selvittämään ratkaisujen toimivuutta käytännön tasolla, jolloin voidaan arvioida mahdolliset kehityskohteet. Havaintojen pohjalta on mahdollista pohtia rakenteen potentiaalia yrityksen muidenkin laserleikkureiden osalta.

## LÄHTEET

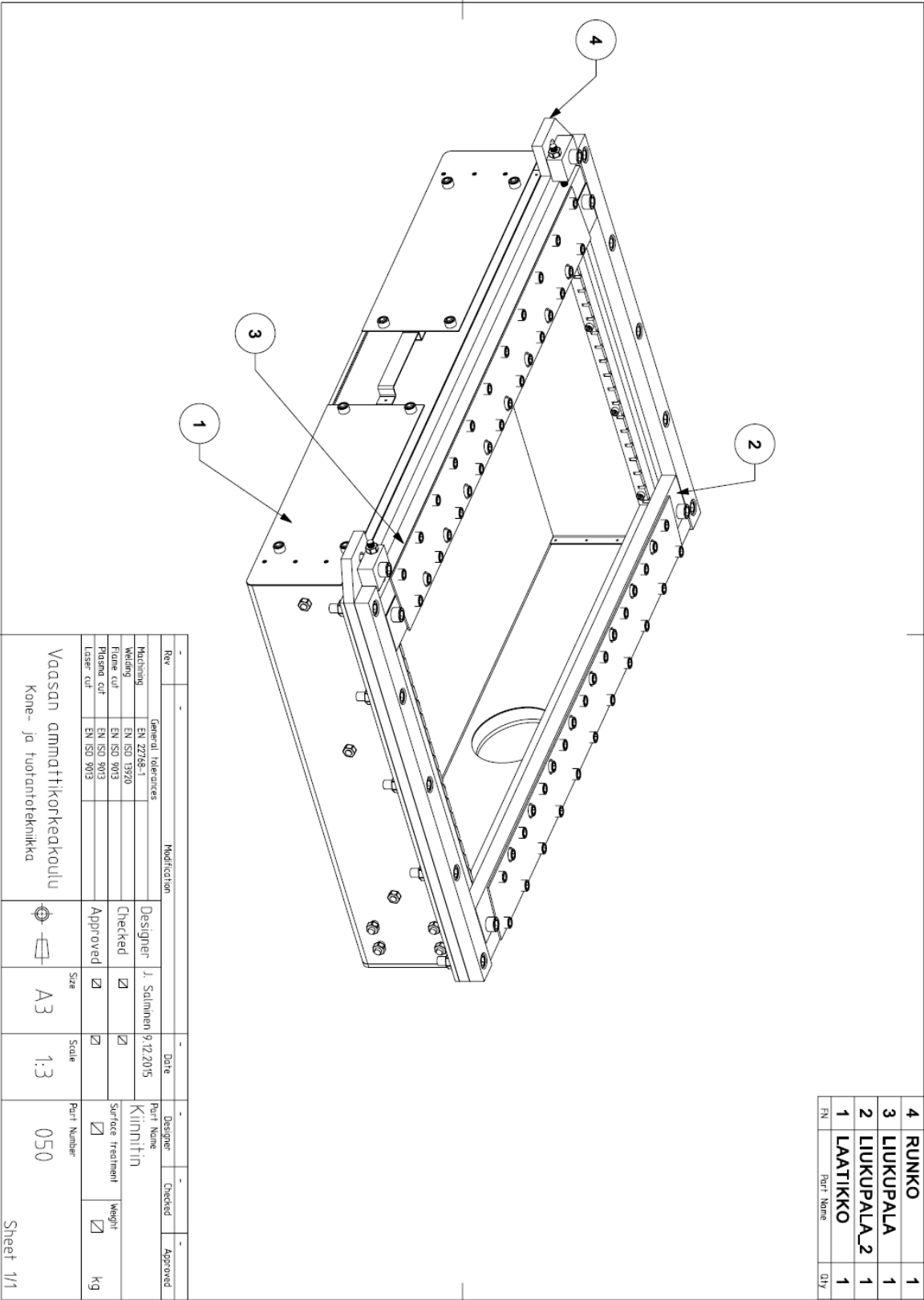
/1/ Kujanpää, V., Salminen, A. & Vihinen, J. Teknologiateollisuuden julkaisu nro 3/2005. Lasertyöstö. Tampere. Tammer-Paino Oy.

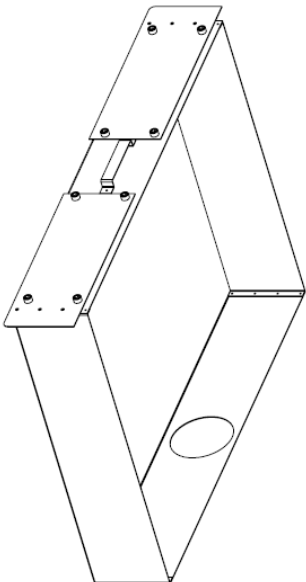
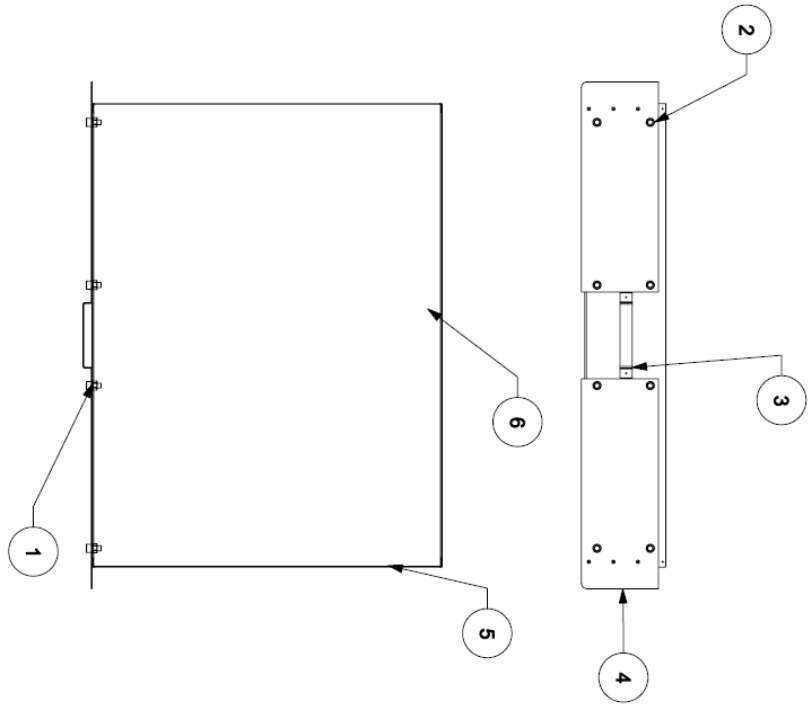
/2/ Kulina, Richter, Ringelhahn & Weber. 1996. Keuruun aikuiskoulutusosasto. Lasertyöstö. Keuruu. Keuruskopio.

/3/ Mraz, S. 2014. First Direct-Diode Laser Slices Through Metal. Viitattu 3.12.2015. <http://machinedesign.com/technologies/first-direct-diode-laser-slices-through-metal>

/4/ Pahl, G. & Beitz, W. 1986. Koneensuunnitteluoppi. 2. painos. Porvoo. WSOY.


/5/ Jokinen, T. Tuotekehitys. Aalto-yliopisto, teknillinen korkeakoulu. Viitattu 5.12.2015. <http://lib.tkk.fi/Reports/2010/isbn9789526033204.pdf>





6	LAATIKKO_POHJA	1
5	LAATIKKO_SIVU	2
4	PEITELEVY	2
3	KAHVA	1
2	M6X12 DIN 912/ISO 4762	8
1	M6_MUTTERI DIN 934/ISO 4032	8
FN	Part Name	Qty

**Osat 3, 4, 5 ja 6 liitetään toisiinsa nitteillä.**

-	Rev	Modification		Date	-	Designer	Checked	Approved
General tolerances						Part Name		
Machining	EN 2768-1		Designer	J. Salminen	9.12.2015	Laahtiko		
Welding	EN ISO 13920		Checked	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Surface treatment	<input checked="" type="checkbox"/>	Weight
Flame cut	EN ISO 9013							kg
Plasma cut	EN ISO 9013		Approved	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
	EN ISO 9013							
Vaasan ammattikorkeakoulu				Size	Scale	Part Number		
Kone- ja tuotantotekniikka				A3	1:5	010		
Sheet 1/1								



